

# رویکردی جدید برای تهیه و ساخت نانوکاتالیست در پیل سوختی پلیمری دما بالا با استفاده پلیمرهای تبادل کننده یونی

سعید پورجعفری، اسماعیل ساعی و ایرانی زاد\*

دانشگاه تربیت مدرس، گروه فیزیک

[saievare@modares.ac.ir](mailto:saievare@modares.ac.ir)

می‌کند. تولید مستقیم الکتروسیسته جایگزینی برای چرخه کارنو جهت تبدیل انرژی شیمیایی حاصل از سوخت به انرژی گرمایی و مکانیکی و در نهایت الکتروسیسته است که اتلاف انرژی را به حداقل ممکن می‌رساند و به بازده تئوری دست پیدا می‌کنیم. در قلب هر پیل یک غشاء پلیمری به عنوان الکترولیت وجود دارد. در پیل‌های سوختی هیدروژنی، محصول واکنش الکتروشیمیایی انرژی و آب است. در پیل‌هایی با سوخت‌های دیگر مانند هیدروکربن‌ها و متانول علاوه بر آب، کربن دی اکسید نیز تولید می‌شود. معمولاً لازم است دمای پیل بالا باشد تا آب به محض تشکیل در سطح الکتروود بخار شود. بنابراین، چشم‌انداز استفاده از این فناوری به سوی تولید پیل‌های سوختی پلیمری دما بالا است. مزایای استفاده از دمای بالا، به افزایش سرعت واکنش‌های الکتروشیمیایی (کاهش نیاز به نانوکاتالیست)، تسهیل مدیریت آب به دلیل وجود فقط یک فاز از آب، قابلیت استفاده مجدد از گرمای اتلافی و کاهش مسمومیت نانوکاتالیست‌ها به مونوکسید کربن اشاره کرد.

چکیده — از پیل‌های سوختی می‌توان در جهت تأمین انرژی الکتریکی از جمله فضایی‌ها، ایستگاههای ماهواره‌ای و مخابراتی استفاده کرد. همچنین این پیل‌ها می‌توانند بصورت مولدهایی با ظرفیت ۱۰۰ وات تا چندین کیلو وات، تولید و عرضه شوند. تاکنون، توسط محققین (ویلیام گرو، پیل‌های سوختی از تاریخ ابداع ۱۸۳۹)، دانشمندان بسیاری در سرتاسر دنیا مورد توجه خاص بوده است. پیل‌های سوختی جزو فناوری‌های راهبردی جهانی بشمار می‌رود و تلاشها و مطالعات فراوانی در این زمینه در حال انجام است. اکثر کارهایی که در زمینه توسعه علوم و فناوری نانو در پیل‌های سوختی صورت گرفته، بر روی کاهش ضخامت اجزای پیل، بهبود عملکرد کاتالیست، الکتروودها و الکترولیت انجام شده است. ضمن اینکه کاهش قیمت سیستم نیز از مسایل اساسی است.

واژه‌های کلیدی — فناوری نانو؛ پیل سوختی؛ کاتالیست؛

## پیل سوختی پلیمری

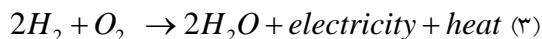
در میان انواع پیل‌های سوختی، پیل سوختی پلیمری یا تبادل پروتونی<sup>۱</sup> (PEMFC) به دلیل چگالی توان بالا، قابلیت شروع به کار سریع و عملکرد در دمای پایین‌تر از  $100^{\circ}\text{C}$ ، در صنایع خودرو سازی، نیروگاهی، وسایل قابل حمل و کاربردهای نظامی مورد استفاده و توجه زیادی قرار گرفته است. در شکل ۱، اجزای پیل سوختی پلیمری<sup>۲</sup> (PEM) به نمایش درآمده است.

## معرفی پیل سوختی

پیل سوختی یک مبدل انرژی الکتروشیمیایی به انرژی الکتریکی است. این تبدیل مستقیم بوده و از بازده بالایی برخوردار است. در واقع می‌توان گفت که در این تبدیل از عمل عکس الکترولیز آب استفاده می‌گردد، به عبارت دیگر از واکنش بین هیدروژن و اکسیژن، آب، حرارت و الکتروسیسته تولید می‌گردد. هر سلول در پیل‌های سوختی از سه جزء آند، کاتد و الکترولیت تشکیل شده است. پیل‌های سوختی فن‌آوری جدیدی برای تولید انرژی هستند که بدون ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و صوتی، از ترکیب مستقیم بین سوخت و اکسیدکننده، انرژی الکتریکی با بازدهی بالا تولید

<sup>1</sup> Proton-Exchange-Membrane Fuel Cell (PEMFC)

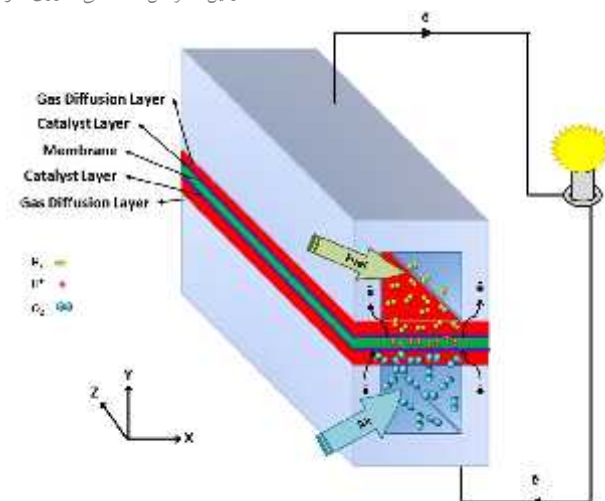
<sup>2</sup> Polymer electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)



این واکنش گرمازا است.

## کاتالیست در پیل سوختی پلیمری

کاتالیستهایی که در پیل سوختی به کار میروند عبارتند از: فلزات خالص Pt, Ag, آلیاژها (Pt-Pd, Co-Cr, Pt-Co, Pt-Ru)، ترکیبات فلزی (پلاتین سیاه و کربن، پلاتین-روتینیوم سیاه) و اخیراً از نیتروژن دوپ شده در کربن نانو تیوبها به جای پلاتین استفاده می‌شود. بستر<sup>۲</sup> به موادی گفته می‌شود که کاتالیست بروی آن قرار می‌گیرد. هدف از بستر مساحت سطح بالا به منظور پخش و پایداری بهتر ذرات پلاتین است. معمولاً از کربن سیاه برای بستر استفاده می‌شود. با وجود مساحت سطحی زیاد، کربن سیاه چندین مشکل بزرگ دارد که نیاز به برطرف کردن دارد. ۱- تخلخل در کربن سیاه پایین است و میزان نفوذ پلاتین پایین است. ۲- فرسایش کربن سیاه زیاد بوده و در کاتد منجر به تشکیل CO<sub>2</sub> می‌شود. در نتیجه فرسایش کربن باعث خوردگی و جدا شدن ذرات پلاتین شده و منجر به کاهش سطوح واکنش-های الکتروشیمیایی می‌گردد. بنابراین برای رسیدن به بازدهی بالاتر، باید از مواد جدیدی برای بستر استفاده گردد. یک بستر خوب باید دارای استحکام مکانیکی بالا و مقاومت در برابر خوردگی، هدایت الکترونی خوب، مساحت سطح بالا، چسبندگی خوب با ذرات کاتالیست باشد. سه نوع ماده در واکنش الکتروشیمیایی حضور دارند: الکترون و پروتون و گاز (شکل ۲). واکنش قسمتی از کاتالیست انجام می‌پذیرد که هر سه نوع ماده حضور داشته باشند. الکترون‌ها از طریق هدایت الکتریکی بستر جامد و کاتالیست وارد واکنش می‌گردند. پروتون‌ها از طریق پلیمر<sup>۳</sup> به سطح کاتالیست می‌رسند. بنابراین حضور پلیمر هادی پروتون در لایه کاتالیست ضروری به نظر می‌رسد. در آخر، گاز از طریق حفره‌های<sup>۴</sup> موجود به سطح پلاتین می‌رسد. همزمان آب تولیدی باید از محل کاتالیست به بیرون رانده شود تا مانع از غرقابی شدن گردد. بنابراین حضور یک ماده آب‌گریز در لایه کاتالیست نیز ضروری است. در حالت عادی واکنش در در مرز سه فازی<sup>۵</sup>، جامد<sup>۶</sup>، فضای خالی و پلیمر انجام می‌شود. مرز سه فازی در واقع بیشتر شبیه یک خط باریک است<sup>۷</sup> تا یک سطح که منجر به چگالی جریان نسبتاً بالا می‌گردد. اما در عمل

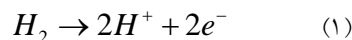


شکل ۱: اجزاء پیل سوختی پلیمری

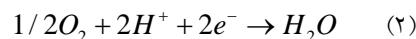
قسمت‌های اصلی پیل سوختی، عبارتند از مجموعه غشاء-الکترو<sup>۱</sup> (MEA) که شامل غشاء تبادل یونی یا الکترولیت پلیمری و الکترودهای آند و کاتد است.

## نحوه عملکرد پیل سوختی

هوای مرطوب از میان کانال‌های گاز کاتد و گاز هیدروژن رقیق شده از میان کانالهای آند وارد پیل می‌شوند. هیدروژن از طریق کانال ورودی آند وارد پیل سوختی شده و سپس از میان لایه نفوذی گاز به سطح کاتالیزور رفته و در آنجا پخش می‌شود. در لایه کاتالیست مولکول هیدروژن به یونهای هیدروژن و الکترون‌ها مطابق واکنش زیر تجزیه می‌شود.



یونهای مثبت هیدروژن از طریق الکترولیت‌های پلیمری جامد به طرف لایه کاتالیست کاتد حرکت می‌کنند. این الکترولیت به علت اینکه رسانای الکتریکی نیست به الکترون‌ها اجازه عبور نداده و به همین دلیل الکترون‌ها از مدار خارجی حرکت می‌کنند و باعث تولید جریان الکتریکی میشوند. این الکترون‌ها از طریق مسیر خارجی به کاتد می‌روند. در کاتد نیز اکسیژن یا هوای ورودی از طریق کانال ورودی کاتد از لایه نفوذ گاز عبور کرده و به سطح کاتالیست کاتد می‌رسد. در سطح کاتد مولکول اکسیژن با یون هیدروژن و الکترون‌ها واکنش داده و آب تولید می‌شود.



در مجموع واکنش کلی در پیل به صورت زیر است.

<sup>۱</sup> Membrane Electrode Assembly (MEA)

<sup>۲</sup> Support.

<sup>۳</sup> Ionomer

<sup>۴</sup> Void

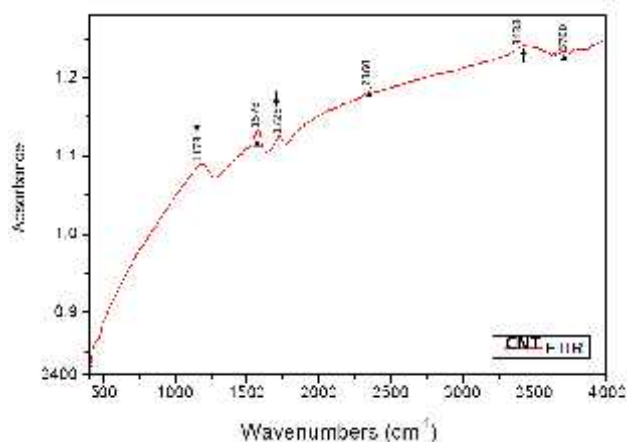
<sup>۵</sup> Three-phase boundary

<sup>۶</sup> Solid

<sup>۷</sup> It is a line

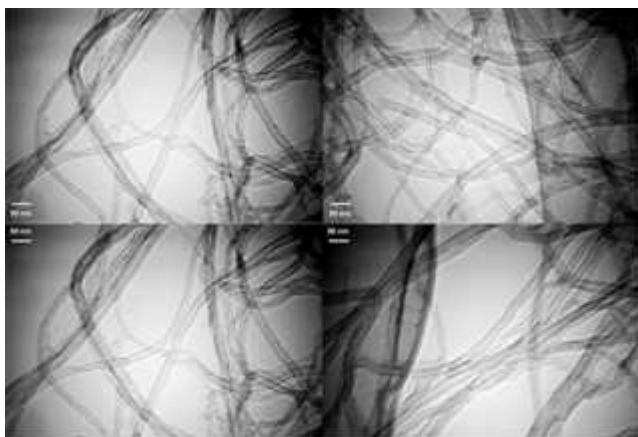
## عامل دار کردن نانولوله های کربنی چند دیواره

برای استفاده از نانو لوله های کربنی در ساخت نانو الکتروکاتالیست لازم است تا حلالیت و توزیع آن در آب افزایش یابد. لذا از ساده ترین و سریع ترین و مقرون به صرفه ترین روش یعنی افزودن گروه های کربوکسیل و هیدروکسیل با استفاده از ترکیب خطرناک نیتریک اسید و سولفوریک اسید به منظور افزایش حلالیت CNT استفاده شد. پس از رفلکس CNT در این ترکیب اسیدی نیاز به رقیق سازی و شستشو برای رسیدن pH محلول به pH بالای ۶ است. پس از هر مرحله شستشو سانتریفیوژ انجام شد که با توجه به این که با نزدیک شدن محلول به pH خنثی ته نشینی CNT با مشکل روبه رو می شود استفاده از سانتریفیوژ ۳۰۰۰۰ rpm لازم است.



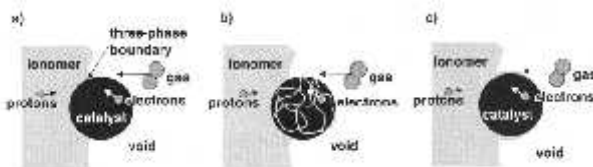
شکل ۳: طیف FTIR برای نانو لوله کربنی عامل دار شده

در شکل ۳ طیف FTIR برای CNT، شامل بسامدهای  $1733$ ،  $1716$ ،  $1624$ ،  $1582$ ،  $1574$ ،  $1570$ ،  $1562$ ،  $1554$ ،  $1546$ ،  $1538$ ،  $1530$ ،  $1522$ ،  $1514$ ،  $1506$ ،  $1498$ ،  $1490$ ،  $1482$ ،  $1474$ ،  $1466$ ،  $1458$ ،  $1450$ ،  $1442$ ،  $1434$ ،  $1426$ ،  $1418$ ،  $1410$ ،  $1402$ ،  $1394$ ،  $1386$ ،  $1378$ ،  $1370$ ،  $1362$ ،  $1354$ ،  $1346$ ،  $1338$ ،  $1330$ ،  $1322$ ،  $1314$ ،  $1306$ ،  $1298$ ،  $1290$ ،  $1282$ ،  $1274$ ،  $1266$ ،  $1258$ ،  $1250$ ،  $1242$ ،  $1234$ ،  $1226$ ،  $1218$ ،  $1210$ ،  $1202$ ،  $1194$ ،  $1186$ ،  $1178$ ،  $1170$ ،  $1162$ ،  $1154$ ،  $1146$ ،  $1138$ ،  $1130$ ،  $1122$ ،  $1114$ ،  $1106$ ،  $1098$ ،  $1090$ ،  $1082$ ،  $1074$ ،  $1066$ ،  $1058$ ،  $1050$ ،  $1042$ ،  $1034$ ،  $1026$ ،  $1018$ ،  $1010$ ،  $1002$ ،  $994$ ،  $986$ ،  $978$ ،  $970$ ،  $962$ ،  $954$ ،  $946$ ،  $938$ ،  $930$ ،  $922$ ،  $914$ ،  $906$ ،  $898$ ،  $890$ ،  $882$ ،  $874$ ،  $866$ ،  $858$ ،  $850$ ،  $842$ ،  $834$ ،  $826$ ،  $818$ ،  $810$ ،  $802$ ،  $794$ ،  $786$ ،  $778$ ،  $770$ ،  $762$ ،  $754$ ،  $746$ ،  $738$ ،  $730$ ،  $722$ ،  $714$ ،  $706$ ،  $698$ ،  $690$ ،  $682$ ،  $674$ ،  $666$ ،  $658$ ،  $650$ ،  $642$ ،  $634$ ،  $626$ ،  $618$ ،  $610$ ،  $602$ ،  $594$ ،  $586$ ،  $578$ ،  $570$ ،  $562$ ،  $554$ ،  $546$ ،  $538$ ،  $530$ ،  $522$ ،  $514$ ،  $506$ ،  $498$ ،  $490$ ،  $482$ ،  $474$ ،  $466$ ،  $458$ ،  $450$ ،  $442$ ،  $434$ ،  $426$ ،  $418$ ،  $410$ ،  $402$ ،  $394$ ،  $386$ ،  $378$ ،  $370$ ،  $362$ ،  $354$ ،  $346$ ،  $338$ ،  $330$ ،  $322$ ،  $314$ ،  $306$ ،  $298$ ،  $290$ ،  $282$ ،  $274$ ،  $266$ ،  $258$ ،  $250$ ،  $242$ ،  $234$ ،  $226$ ،  $218$ ،  $210$ ،  $202$ ،  $194$ ،  $186$ ،  $178$ ،  $170$ ،  $162$ ،  $154$ ،  $146$ ،  $138$ ،  $130$ ،  $122$ ،  $114$ ،  $106$ ،  $98$ ،  $90$ ،  $82$ ،  $74$ ،  $66$ ،  $58$ ،  $50$ ،  $42$ ،  $34$ ،  $26$ ،  $18$ ،  $10$ ،  $2$  است.



شکل ۴: تصویر برداری الکترونی از نانو لوله های کربنی

به دلیل آنکه مقداری گاز به داخل پلیمر نفوذ می کند محیط واکنش وسعیت از مرز سه فازی ذکر شده است. در حالتی بهتر سرتاسر محیط کاتالیست را با پلیمر می پوشانند و قسمتی را باز می گذارند تا الکترون آزادی حرکت به سمت بستر داشته باشد. میزان مساحت برای سطح پوشانیده شده با پلیمر به سطحی که برای آزاد سازی الکترون لازم است و سطحی که با الکترون در تماس است جهت انجام واکنش بهتر، باید بهینه گردد [۱].



شکل ۲: شمایی از محل انجام واکنش در کاتالیست

## استفاده از نانو لوله های کربنی برای تولید

### کاتالیست

نانو لوله های کربنی<sup>۱</sup> به عنوان یکی از مواد کلیدی در زمینه علم و فناوری نانو است. یکی از امیدوار کننده ترین برنامه های کاربردی از نانولوله ها استفاده از آنها به عنوان الکتروکاتالیست در سیستم های پیل سوختی جهت عملکرد بهتر است. رسانایی الکتریکی بالاتر در مقایسه با مواد کربن معمولی مانند کربن سیاه، نیاز به ناخالصی های پایین تر، بارگذاری با بهره وری بالاتر از کاتالیزور و دوام الکتروشیمیایی عالی که برای الکتروکاتالیست ها بسیار حیاتی است از مزایای استفاده از نانو لوله های کربنی است. موضوع مهم استفاده از نانولوله، آماده سازی در حلال مناسب است. در گزارشها آمده است که ترکیبات معطر، دارای پتانسیل بسیار زیادی برای حل نانو لوله های کربنی تک جداره از طریق مکانیزم های جذب فیزیکی هستند. عامل دار کردن نانولوله های کربنی برای حل شدن در پلیمر بسیار اهمیت دارد، در غیر این صورت نانو لوله های کربنی کلوخه شده و کارایی خود را از دست می دهند.

### مواد و روش

مواد مورد نیاز برای انجام این پژوهش در زیر به اختصار آورده شده است. کربن نانو تیوب (نوترینو)، پلیمر پلی وینیل پرولیدن (سیگما) نمک پلاتین،  $H_2PtCl_6$  (مرک)، اتیلن گلیکول (مرک)، فسفو تنگستیک اسید (مرک)

<sup>1</sup> Carbon nanotube (CNT)

مد ارتعاشی گروه کششی آمیدی (N-C=O)، کربونیل (C=O) و C-N در ناحیه  $1681\text{ cm}^{-1}$  ظاهر می‌شوند. از سویی دیگر، مد ارتعاشی نامتقارن C-H های موجود در زنجیره پلیمر و در حلقه پیرولیدونی در بسامد  $2948\text{ cm}^{-1}$  رویت می‌شود.

در شکل ۶ زیر طیف رامان CNT عامل‌دار را مشاهده می‌کنیم. در مورد CNT نیز مشخصه طیف رامان به طور خلاصه شامل چهار مد است:

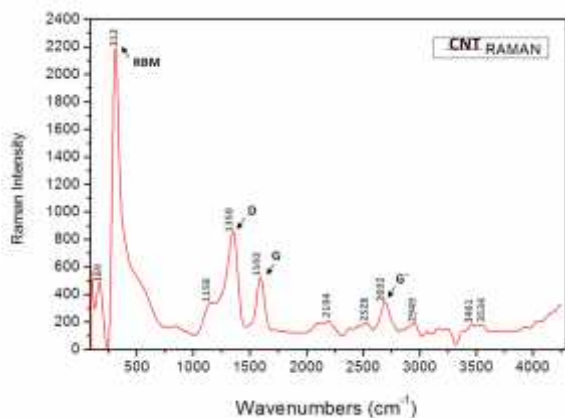
۱- یک قله با بسامد بین  $100-350\text{ cm}^{-1}$  یا دسته‌ای از قله‌ها برای نمونه‌های بس‌پراکنده<sup>۳</sup> از دسته‌جات CNT. بسامد این قله CNT مد تنفسی شعاعی (RBM)<sup>۴</sup> است که به قطر نانو لوله‌ها بستگی دارد؛

۲- یک قله بلند در  $1350\text{ cm}^{-1}$  ناشی از نقص شبکه بلوری و چیدمان ناجور باقیمانده‌ها است که خط D<sup>۵</sup> است؛

۳- شاخه‌ای با بسامد بالا بین  $1500\text{ cm}^{-1}$  و  $1600\text{ cm}^{-1}$  با نام نوار G که حاصل ارتعاشات صفحه‌ای مواد شبه گرافیتی است که در مواد شبه گرافیتی به بسامدهای کمتر از  $1580\text{ cm}^{-1}$  در مقایسه با گرافیت میل می‌کند و ممکن است به چندین قله شکافته شوند [۲]؛

۴- مد مرتبه دوم بین  $2450\text{ cm}^{-1}$  و  $2650\text{ cm}^{-1}$  به عنوان اولین Overtone نوار D، با نام مد G'<sup>۳</sup> است [۳]؛

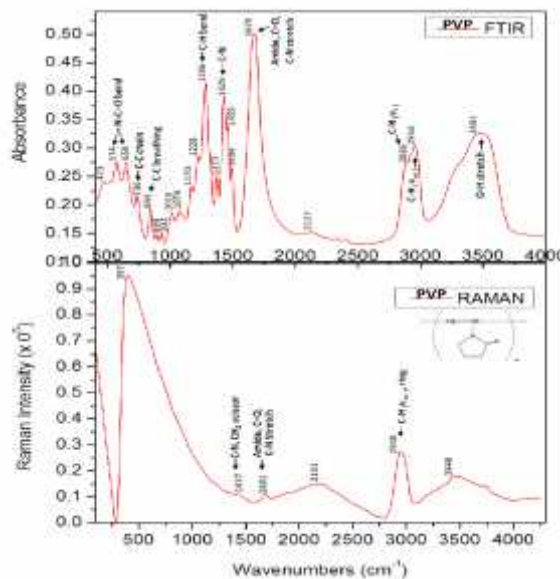
همانطور که از شکل ۶ پیداست، قله در  $1592\text{ cm}^{-1}$  (مد G) مربوط به ارتعاشات مماسی صفحات گرافیت و قله  $1350\text{ cm}^{-1}$  (مد D) مربوط به



شکل ۶: طیف رامان CNT عامل‌دار

## تهیه نانوکامپوزیت PVP/CNT

پلیمر پلی وینیل پیرولیدون<sup>۱</sup> در محلول دی متیل استامید<sup>۲</sup> به همراه CNT عامل‌دار به مدت ۴ ساعت در دمای  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  هم‌زده و ۳۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار داده تا محلول یکنواختی از PVP و CNT حاصل شود. سپس با سانتریفوژ  $12000\text{ rpm}$  کامپوزیت PVP/CNT را شستشو داده تا PVP آزاد از محیط خارج کرده و رسوب CNT و پلیمرهای متصل را جدا نموده و در آن خلأ خشک شد.



شکل ۵: طیف FTIR و رامان برای پلیمر PVP

در شکل ۵ طیف بازتابی FTIR و رامان را می‌بینیم که قله‌های PVP، در بسامدهای  $1429\text{ cm}^{-1}$ ،  $1670$  و  $2954$  به خوبی مشاهده می‌شوند. در قله  $1429\text{ cm}^{-1}$  مد ارتعاشی C-N حلقه پیرولیدونی است. مد ارتعاشی گروه کششی آمیدی (N-C=O)، کربونیل (C=O) و C-N در ناحیه  $1670\text{ cm}^{-1}$  ظاهر می‌شوند. از سویی دیگر، مد ارتعاشی متقارن و نامتقارن C-H به ترتیب در بسامدهای  $2954$  و  $2885\text{ cm}^{-1}$  رویت می‌شود. طیف‌سنجی رامان تکنیکی تکمیلی برای شناسایی گروه‌ها یا مولکول‌های مختلف است که به علت تقارن و نداشتن ممان دو قطبی توسط FTIR قابل شناسایی نمی‌باشند. بنابراین در این پژوهش بررسی ساختار و گروه‌های عاملی توسط رامان صورت پذیرفت. در طیف رامان PVP را می‌بینیم که قله‌های PVP، در بسامدهای  $1437\text{ cm}^{-1}$ ،  $1681$  و  $2948$  به خوبی مشاهده می‌شوند. در قله  $1437\text{ cm}^{-1}$  مد ارتعاشی C-N حلقه پیرولیدونی و مد ارتعاشی  $\text{CH}_2$  است.

<sup>3</sup> Polydisperse

<sup>4</sup> Radial Breathing Mode

<sup>5</sup> Defects

<sup>1</sup> Polyvinylpyrrolidone(PVP)

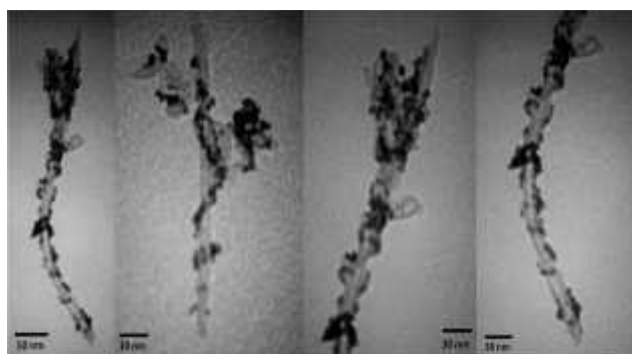
<sup>2</sup> N,N-Dimethylacetamide(DMAC)

اریبیتال d الکتروکاتالیست بیشتر باشد میزان قدرت جذب بهتر می‌گردد. طلا چون هیچ الکترون منفردی ندارد کمترین قدرت جذب را داراست (جذب تنها فیزیکی است). روتنیوم دارای بالاترین الکترون جفت نشده و در نهایت قدرت جذب می‌باشد لذا قدرت جذب اکسیژن مولکولی با روند روتنیوم > رودیوم > پلاتین > پالادیوم > طلا کاهش می‌یابد. باکریس یک رابطه خطی بین الکترونها منفرد در اربیتالهای d و مقدار سطح پوشیده الکتروکاتالیست با اکسیژن نشان داد. بر طبق نظر باکریس چون در مسیر کاهش اکسیژن بر سطح الکتروکاتالیست‌ها مرحله جذب اکسیژن نیز وجود دارد در صدخالی بودن اربیتال d و الکترونها منفرد در اربیتالهای d مهمترین پارامترهای موثر بر جذب اکسیژن و در نهایت کاهش اکسیژن بر سطح الکتروکاتالیست‌های مختلف است.

### تولید الکتروکاتالیست

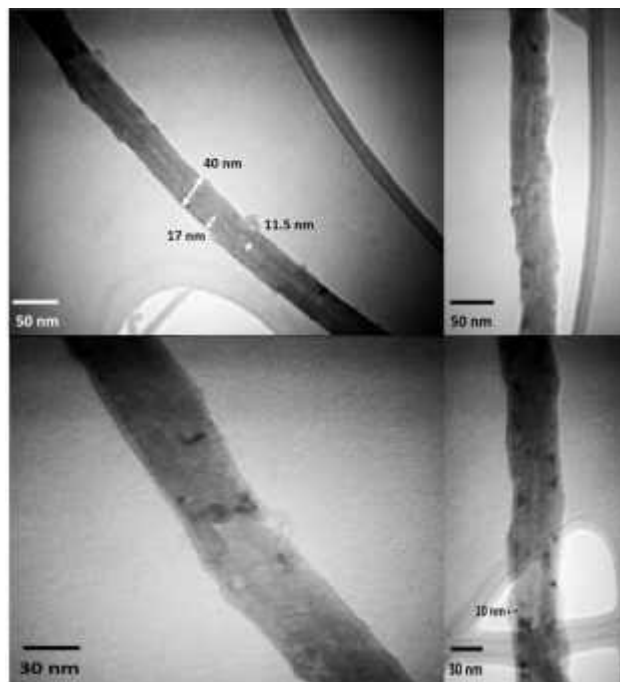
#### MWNT/Polymer/Catalyst

ترکیب حاصل از مرحله پیشین، در محلول اتیلن گلیکول با نمک پلاتین  $H_2PtCl_6$  به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $140^\circ C$  تحت گاز آرگون رفلکس شد تا نانوذرات پلاتین کاملا احیا شود. سپس ترکیب MWNT/PVP/Pt چندین بار شستشو و سانتریفوژ شد. بستر جمع کننده الکترون از سطح پلاتین است. فعالیت کاتالیست وابستگی شدیدی به اندازه ذره و پراکندگی آن دارد. برای پایداری و بهبود مواد در برابر فرسایش از بستر کربنی نانو تیوب که دارای استحکام بهتری نسبت به کربن سیاه است استفاده شود. بستر کاتالیزور باید چند ویژگی مهم از جمله رسانایی الکتریکی عالی، مقاومت خوردگی بالا، توزیع اندازه یکنواخت ذرات، مساحت سطح بالا، نیروی قوی چسبنده به ذرات کاتالیزور، تشکیل آسان، پراکندگی یکنواخت از ذرات کاتالیزور بر روی سطح خود را داشته باشد. در شکل ۸ یکنواختی نانو ذرات پلاتین بروی کربن نانو تیوب به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۸: نانو ذرات پلاتین بروی کربن نانو تیوب

نقایص در ساختارگرافیت CNT است. عامل دار کردن CNT منجر به کاهش قله G و افزایش کمی در قله D می‌شود که این تغییرات بسیار اندک است، به‌طور خلاصه می‌توان گفت که کربن در گرافیت دارای پیوند  $sp^2$  می‌باشد که با افزودن گروه‌های عاملی، اتم‌های کربن با آنها پیوند  $sp^3$  برقرار می‌کنند، در واقع افزایش نسبت شدت قله D به G رامن، نشان‌دهنده افزایش پیوند  $sp^3$  و کاهش پیوند  $sp^2$  می‌باشد [۴،۵]



شکل ۷: پلیمر تاییده شده به دور کربن نانو تیوب

پلیمرها [۶] می‌توانند به عنوان بستر کاتالیزوری مورد استفاده قرار گیرند. رسانندگی الکتریکی و یونی، ساختار متخلخل، پایداری بالا و فرآیندپذیری<sup>۱</sup> تحت شرایط محیطی از عوامل توجه پلیمرها است. بستر پلیمری خوب علاوه بر اینکه باعث پخش بهتر ذرات کاتالیست می‌شود، میتواند سطوح واکنش را نیز افزایش داده موجب تسهیل در فرایند اکسیداسیون و احیاء گردد.

### مقایسه pt با دیگر فلزات و دلیل برتری pt در

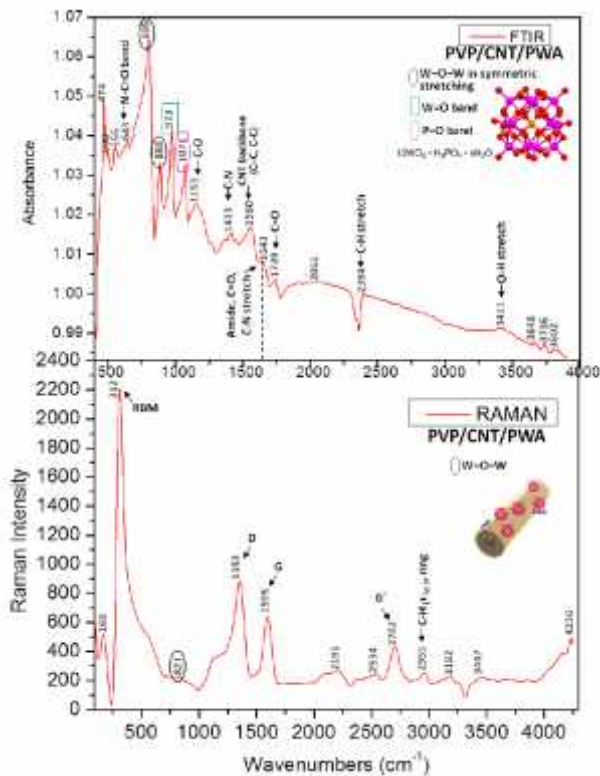
#### فرایند احیاء

مولکول اکسیژن برای جذب بر سطح الکتروکاتالیست‌ها نیاز به دو الکترون جفت نشده در اربیتال d الکتروکاتالیست دارد لذا هرچقدر الکترون منفرد در

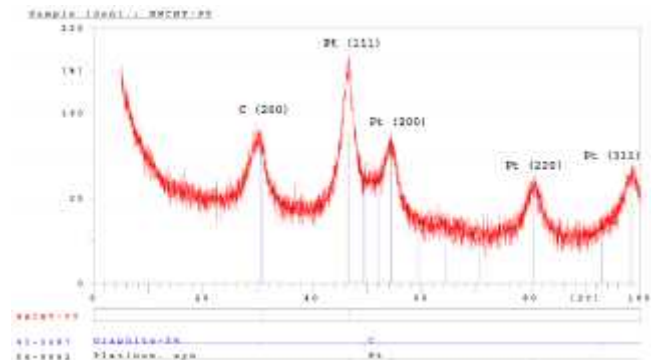
<sup>1</sup> Processability

## طیف‌سنجی تفرق اشعه ایکس

طیف‌سنجی تفرق اشعه ایکس اثبات محکمی بر وجود ذرات فلزی پلاتین در ترکیب مذکور است. همانطور که در شکل دیده می‌شود قله‌های مربوط پلاتین را در زوایای مختلف مشاهده می‌کنیم که عبارتند از  $2\theta = 46/53^\circ$ ،  $53/97^\circ$ ،  $80/13^\circ$  و  $98/13^\circ$  که ساختار مکعبی وجوه مرکز پُر<sup>۱</sup> (FCC) دارد [۷]. حضور نانو لوله‌های کربنی نیز در زوایای  $2\theta = 29/92^\circ$  به وضوح مشاهده می‌شود



شکل ۱۰: طیف FTIR و رامان برای نانو کامپوزیت PVP/CNT/PWA



شکل ۹: طیف‌سنجی تفرق اشعه ایکس

## بحث و نتیجه‌گیری

تهیه MEA مناسب، بهبود موثر در عملکرد PEMFC مانند پایداری مناسب با پلیمر، طول عمر بالا، عدم خوردگی در دمای بالا، قابلیت استفاده در دمای بالا بدلیل استفاده از پلیمرهایی که قابلیت تحمل دمای بالا را دارند و همچنین کاهش هزینه‌های تولید از دستاوردهای این کار است که ان‌شالله گامی موثر برای تجاری سازی پیل سوختی باشد. با توجه به کار انجام گرفته عامل دار کردن کربن نانو تیوب برای افزایش حلالیت بسیار ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از پلیمر برای تابیدن به دور کربن نانو تیوب به احیاء پلاتین کمک شایانی می‌کند زیرا کمکی برای گروه‌های عاملی به حساب می‌آید که هم در حلالیت بهتر و هم در دام انداختن نانو ذرات فلزی بسیار اهمیت دارند. بازوهای پلیمری در اطراف کربن نانو تیوب به جذب بیشتر نانو ذرات پلاتین کمک می‌کند. نشانند همزمان دو فلز پلاتین و تنگستن بروی کربن نانو تیوب چالشی مهم بشمار می‌رود. میزان بارگذاری همزمان پلاتین و تنگستن از مهمترین اهداف به شمار می‌رود.

## افزایش هدایت پروتونی نانوکامپوزیت با فسفو

## تنگستیک اسید

کامپوزیت PVP/CNT حاصل را به همراه سوپر اسید فسفو تنگستیک اسید<sup>۲</sup> در محلول DMAc به مدت ۱۲ ساعت هم زده تا گروه‌های تنگستن بر روی CNT بنشینند. مجدداً کامپوزیت PVP/CNT/PWA با دور ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد و خشک گردید پس از تشکیل نانوکامپوزیت PVP/CNT/PWA، طیف FTIR کماکان قله‌های شاخص CNT در بسامدهای  $1153$ ،  $1560$ ،  $1739$ ،  $2394$  و  $3411$   $\text{cm}^{-1}$  در بسامدهای  $1413$  و  $1643$  نشان می‌دهد. در ضمن وجود قله‌های  $805$  و  $888$  در طیف به ترتیب نشان‌دهنده مد ارتعاشی متقارن W-O-W لبه‌ای<sup>۳</sup> و گوشه‌ای<sup>۴</sup> و  $973$  و  $1071$  به ترتیب حاصل ارتعاش W=O و P-O است که موید حضور PWA در ترکیب کامپوزیت مورد مطالعه می‌باشد [۸]

<sup>۱</sup> Face-centered cubic

<sup>۲</sup> Phosphotungstic acid(PWA)

<sup>۳</sup> Edge-sharing oxygen

<sup>۴</sup> Corner-sharing oxygen

مراجع:

- [5] B. Gao, Q. Fu, L. Su, C. Yuan, X. Zhang, *Electrochimica Acta* 55 (2010) 2311.
- [6] Rajesh, T. Ahuja, D. Kumar, *Sensors and Actuators B: Chemical* 136 (2009) 275.
- [7] T. Huang, D. Zhang, L. Xue, W.-B. Cai, A. Yu, *Journal of Power Sources* 192 (2009) 285.
- [8] A.J. Bridgeman, *Chemical Physics* 287 (2003) 55.
- [1] Frano Barbir, *Pem Fuel Cells: Theory and Practic*, Academic press sustainable worlds, 2001.
- [2] P.C. EKLUND, J.M. Holden, L. Angeles, R. A. JISHI, *Carbon* 33 (1995) 959.
- [3] فخرایی، ترابرد الکتریکی در لوله های کربنی .  
نانومتری آلابیده، دانشگاه بین المللی امام خمینی.
- [4] T.M. Wu, Y.W. Lin., *Polymer* 47 (2006) 3576.