اهمیت توسعه فناوری باتری ها در ابزارهای پزشکی

اعظم حیدری*[۱]، نقی سعادتجو[۲]، سیدمحمدمهدی دوست محمدی[۳]

۱- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دپارتمان پزشکی مولکولی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار شیمی کاربردی، دانشکده علوم، گروه شیمی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت : ۸۹/۲/۶ ***تاریخ پذیرش : ۸۹/۴/۱۵***

چکیده:

ابزارهای پزشکی که انرژی آنها توسط منابع الکتروشیمیایی تأمین می‌شود نقش مهمی در درمان و بهبود بیماران دارند. از زمان ساخت نخستین ضربان‌ساز قلب (۱۹۵۰) پیشرفت‌هایی در فناوری باتری، الکترونیک و دانش پزشکی صورت گرفت که موجب تولید و توسعه گونه‌های فوق‌العاده‌ای از ابزارهای پزشکی درون کاشت و خارجی گردید. پیشرفت فناوری باتری‌های قابل شارژ لیتیم- یون و ورود آن به عرصه باتری‌های پزشکی موجب تأمین چگالی انرژی بیشتر و پایایی مطلوب آن در مصارف پزشکی شده است و انتظارمی‌رود که نسل‌های جدیدتر این ابزارها بیماری‌هایی مثل نارسایی اختناق قلبی و ناراحتی‌های عصبی را نیز درمان خواهند کرد.

واژگان کلیدی: باتری های پزشکی، باتری های لیتیمی، ابزارهای درون کاشت.

مقدمه و کلیات:

در بیش از چهل سال اخیر، پیشرفت‌های مشهودی درتوسعه ابزارهای درون‌کاشت (ایمپلنت) و همچنین ابزارهای خارجی مورد استفاده در شناسایی و درمان بیماری‌ها صورت گرفته است. تولید این‌گونه ابزارها که انرژی آنها توسط باتری تأمین می‌شود و در درمان بیماری‌های قلبی، عصبی و حتی کم‌شنوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند از سال ۱۹۶۰ مورد توسعه قرار گرفته است.[۱] از نخستین ابزارهای درون کاشت شناخته شده ضربان سازهای قلبی بودند که باتری روی/ اکسید جیوه در ساختار آنها استفاده می شد. با وجود اینکه این نوع باتری‌ها با اشکالاتی همچون تصاعد هیدرژن، تخلیه خودبخودی و توقف ناگهانی آن همراه بودند اما برای مدتها در ساختار ضربان‌سازها بکار برده می‌شدند. اگرچه ضربان‌سازهای قابل شارژ

* **نویسنده مسئول:** دپارتمان پزشکی مولکولی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران *heidariazam@yahoo.com*

با استفاده از باتری های نیکل/کادمیم هم مورد استفاده قرار گرفتند اما با مؤفقیت همراه نبودند. بنابراین از اواخر دهه ۱۹۶۰با توسعه باتری‌های لیتیمی جایگزین خوبی برای باتری‌های روی/ اکسید جیوه فراهم گردید.

نخستین باتری‌های لیتیمی که درضربان‌سازها مورد استفاده واقع شدند، باتری‌های لیتیم/ ید- پلی‌وینیل پیریدین (PVP) بودند که اولین‌بار در سال ۱۹۷۲ در ایتالیا استفاده شد.[۲]

در سال‌های اخیر نیز تعداد ابزارهای پزشکی درون‌کاشت به‌سرعت روبه افزایش است. اغلب این ابزارها به باتری‌هایی نیاز دارند که ازنظر اندازه فیزیکی و عملکرد دارای محدودیت باشند. انواع باتری‌های لیتیمی که به‌عنوان منابع انرژی این ابزارها بکار می‌روند عبارتند از: $Li/SOCl_2, Li/Ag_2V_4O_{11}, Li/CF_x, Li/MnO_2, Li/I_2$.[۳] لیتیم به خاطر داشتن پتانسیل استاندارد بالا (۳/۰۴- نسبت به SHE)، شعاع کوچک (۷۶pm) و همچنین سبک بودن آن (چگالی $0/53 g/cm^3$) چگالی انرژی بالایی را ایجاد می‌کند و این امر موجب عملکرد مطلوب آن می‌شود.

باتری‌های لیتیمی که به دو صورت باتری‌های قابل شارژ و غیرقابل شارژ عرضه می شوند، برای ابزارهای درون‌کاشت پزشکی مانند ضربان سازها، دفیبریلاتورها و تحریک‌کننده‌های عصبی اغلب از باتری‌های غیرقابل شارژ استفاده می شود.[۴]

تا اواسط دهه ۱۹۸۰ تنها باتری‌های لیتیم/ ید- PVP بودند که توانستند جایگاه خود را به عنوان تامین کننده انرژی ابزارهای ضربان‌ساز قلبی حفظ کنند اگر چه این سیستم‌ها دارای چگالی انرژی حجمی $1 WhCm^{-3}$ بوده و در ابعاد و شکل‌های مختلف طراحی می‌شوند و همچنین از پایایی مطلوبی نیز برخوردارند، اما وجود الکترولیت مایع و کاتد جامد در ساختار باتری لیتیم/ ید- PVP در برخی ضربان سازهای پیشرفته به عنوان یک اشکال عمده مطرح است زیرا امپدانس داخلی بالای سیستم موجب محدودیت قابل توجه آن در ظرفیت آزادسازی جریان بویژه تاخیر در عمل باتری می‌شود[۲] توسعه و بهینه سازی آن منجر به تولید سیستمی شد که دارای کاتدی از ید بوده و در واکنش با PVP هادی الکترونیکی تشکیل می‌دهد و الکترولیت جامد لیتیم یدید آن در طی فرایند واکنش بین آند و کاتد باتری تشکیل می‌شود. امروزه تقریباً ۱۰۰٪ ضربان‌سازها با استفاده از این سیستم تولید می‌شوند.[۱] با اینکه بکارگیری باتری‌های لیتیم- ید در ضربان‌سازهای قلبی درون‌کاشت نتیجه نسبتاً مطلوبی را فراهم می‌کنند اما در مورد تحریک‌کننده‌های عصبی که در مقایسه با ضربان سازها به انرژی بیشتری نیاز دارند مناسب نخواهند بود. بنابراین برای تأمین انرژی مورد نیاز تحریک‌کننده‌های عصبی باتری‌های لیتیم/ تیونیل‌کلرید و لیتیم/ کربن مونوفلوئورید بکار می‌رود. این سیستم‌ها علاوه بر این می توانند در تأمین انرژی دارو رسان هایی که برای آزادسازی دارو با سرعت متوسط، به جریانی در حدود پالس‌های میلی‌آمپری تا میکروآمپری نیاز دارند نیز مفید واقع شوند.[۳]

در سال ۱۹۸۰ ابزاری ساخته شد که قادر بود با تشخیص فیبریلاسیون بطنی و ایجاد یک شوک آن را متوقف کرده و از طریق الکترود بخیه شده به سمت قلب موجب احیای ضرباهنگ سینوسی نرمال آن شود. انرژی این وسیله توسط سیستم

لیتیم/ پنتوکسید وانادیم تأمین می‌شد. پس از اثبات تأثیر این وسیله در تشخیص فیبریلاسیون بطنی و توسعه آن سیستم جدیدی با مواد کاتدی اکسید وانادیم نقره ($SVO,\ Ag_2V_4O_{11}$) جایگزین لیتیم/ پنتوکسید وانادیم گردید. امروزه این سیستم اغلب در دفیبریلاتور درون‌کاشت و شوک‌دهندهٔ الکتریکی قلب استفاده می‌شود، با اینکه امکان استفاده ازسیستم لیتیم / منگنز دی‌اکسید هم در چنین ابزاری وجود دارد. همچنین سیستم جدیدی که اخیراً گزارش شده با استفاده از کاتد "ساندویچ" طراحی شده است که لایه داخلی آن از کربن مونوفلوئورید و لایه خارجی آن از اکسید وانادیم نقره است.[۱]

باتری‌های مورد استفاده در پزشکی به سرعت بالای ذخیره‌سازی، چگالی انرژی زیاد، سرعت پایین تخلیه خودبخودی، پایداری بالا در مدت زمان طولانی و سازگاری با شیمی درونی بدن نیاز دارند تا بتوانند برای مدت‌ها پایایی خود را حفظ کنند. در این مورد باتری‌های نوع اول لیتیم / گوگرد نیز بخاطر دارا بودن خواصی چون نداشتن سمیت و زیاد بودن میزان نظری ظرفیت ویژه مربوطه تا $۱۶۷۵mAh\ /g$ با کاتد گوگردی جالب بنظر می‌رسد. زوج ردوکس لیتیم گوگرد می‌تواند به‌میزان $۲۶۰۰Wh\ /kg$ انرژی تولید کند که این مقدار بسیار بیشتر از انرژی باتری‌های لیتیمی نوع اول $Li/SOCl_2, Li/MnO_2$ که امروزه رایج است می‌باشد.

ویژگی‌های الکتروشیمیایی باتری $Li\ /S$ همانند ظرفیت تخلیه، تخلیه خودبخودی، عملکرد آن در دماهای پایین، تعداد دفعات تخلیه و پرکردن (شارژ و دشارژ) و سرعت ذخیره‌سازی آن که توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است نشان می‌دهد که باتری $Li\ /S$ در نخستین تخلیه (دشارژ) دارای ظرفیتی بالغ بر $۱۲۰۰mAh\ /g$ می شود. در بررسی رفتار تخلیه خودبخودی آن نیز که یکی از عوامل مهم برای باتری‌های پزشکی است مشاهده شده است که با استفاده از یک جمع آوری کننده جریان آلومینیومی، سرعت تخلیه خودبخودی در طول ۸۰ روز اولیه به میزان ٪۳۴ بوده که بعد از ۳۶۰ روز فقط به ٪۳۶ می‌رسد بعبارتی سرعت متوسط تخلیه خودبه‌خودی آن حدود ٪۳ در ماه است.[۳]

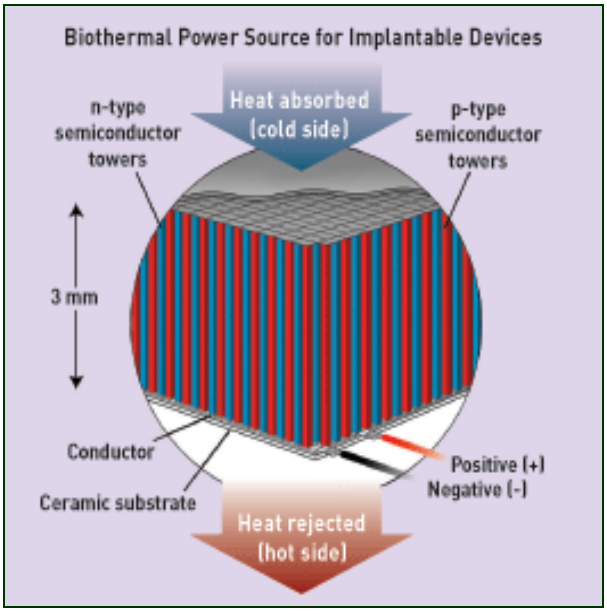
اگرچه در مصارف پزشکی اغلب از باتری‌های نوع اول استفاده می‌شود اما ابزارهایی نیز وجود دارند که بخاطر نیاز به انرژی بیشتر از باتری‌های نوع دوم در آنها استفاده می‌شود. ابزارهایی مانند کمک بطن‌چپی و سمعک های درون‌کاشت و برخی تحریک‌کننده‌های عصبی به باتری‌های نوع دوم نیاز دارند تا بتوانند عمر طولانی و پایایی لازم را فراهم سازند.[۲]

ابزارهای درون‌کاشت شوک دهندهٔ الکتریکی قلب، ضربان‌سازها، دفیبریلاتورهای قلبی، دارو رسان‌هایی که در درمان بیماری‌های مزمن مانند دیابت و شیمی درمانی به کار می‌روند، محرک‌های عصبی درون‌کاشت برای درمان صرع، پارکینسون، دردهای مزمن عصبی و بی اختیاری و ابزارهایی که در درمان نقص‌های شنوایی استفاده می‌شوند همه از اینگونه باتری‌ها بهره می‌برند. علاوه بر ابزارهای درون‌کاشت مذکور، ابزارهای دیگری هم وجود دارند که در خارج از بدن کاربرد دارند همچون سیستم‌های دارورسان خارجی، مانیتورهای هالتر، دفیبریلاتورهای خارجی، سمعک و صندلی چرخدار که همگی از منابع الکتروشیمیایی استفاده می‌کنند.

چالش‌های موجود در راستای تولید و توسعه ابزارهای زیست پزشکی موجب شده که بمنظور تأمین و ارتقاء سطح سلامتی و اطمینان آنها، طراحی منابع انرژی، پایداری عمل و ساختار آنها مورد ارزیابی قرار گیرد.[۳]

سیستم‌های دقیقی همچون سیستم‌های میکروالکترومکانیکی و نانوالکترومکانیکی که در دو دهۀ اخیر مطالعات زیادی روی آنها انجام گرفته است بخاطر کاربرد بالقوه آنها در پمپ‌ها و موتورها و اجزای دیگر اهمیت قابل توجهی یافته‌اند. این سیستم‌های دقیق در صورتی مفید خواهند بود که خودشان دارای منابع انرژی باشند. از منابع بالقوه انرژی که در ابعاد میکرو و نانو توجه کمی به آنها شده است باتری‌های لیتیمی هستند که می‌توانند این نیاز را تأمین کنند.[۵]

امروزه فناوری ساخت ابزارهای الکترونیکی و اجزای همراه آنها که بمنظور قرارگرفتن در مدارهای الکتریکی به سمت کوچک شدن تا ابعاد نانومتری پیش می‌روند رو به گسترش است. نمونه ای از این فناوری نانوباتری‌های زیست پزشکی هستند که مرکز تحقیقاتی ناسا با همکاری مراکز تحقیقاتی دیگر به تولید آنها پرداخته‌اند. این نمونه (شکل ۱) که نوعی نانوباتری زیست حرارتی است دارای روکش سرامیکی بوده و از نیمه هادی نوع n و p با ابعاد نانو در ساختار آنها استفاده شده است. این باتری که انرژی آن ازگرمای بدن تأمین می‌شود در تأمین انرژی اعضای پیوند زده شده در بدن نقش حیاتی دارد و حتی می تواند بعنوان باتری حسگرهای تشخیص بیماری، تحریک کننده های عصبی و ضربان سازها نیز بکار رود.[۶]



شکل ۱: تصویر شماتیک نانوباتری زیست حرارتی

نانوباتری زیستی (بیونانوباتری) وسیله‌ای است برای ذخیره انرژی الکتریکی که با استفاده از مواد آلی و فرایندهای آن قابلیت‌های جدیدی را در تولید انرژی الکتریکی، ذخیره و توزیع آن در مقایسه با سیستم‌های رایج دیگر فراهم می‌کند. نوع دیگری از نانوباتری‌های زیستی که می تواند مفید واقع شود شامل الکترودهایی ساخته شده از پرتیئین فریتین با هسته آهنی و کبالت یا سایر فلزات است. آرایه‌های فریتینی دو بعدی که بر روی بسترهای مختلفی تولید شده‌اند سیستمی در

ابعاد نانو و دارای لایه نازک با قابلیت سازگاری ایجاد می‌کنند که بخاطر داشتن قابلیت ذخیره و توزیع انرژی، اندازه کوچک، چگالی بالای انرژی برای کاربردهای الکترونیکی در ابعاد نانو ایده‌آل می‌باشند. کاربردهای بالقوه سیستم‌های توزیع انرژی شامل تراشه های هوشمند با عملکرد مستقل، مدارهای الکترونیکی دارای لایه نازک و قابلیت سازگاری، سیستم‌های نانوالکترومکانیکی، ابزارهای ذخیره اطلاعات با تراکم خیلی بالا، نانوالکترمغناطیس، ابزارهای الکترونیکی کوانتومی، تراشه‌های زیستی، نانو روبات‌ها برای کاربردهای پزشکی و نانوساختارهای مکانیکی و غیره می‌باشد.[۷]

در آینده نیز به نظر می‌رسد که ابزارهای نانومکانیکی یا ماشین‌های مولکولی، که اغلب نیروی آنها توسط نور یا سایر انواع تابش‌های الکترومغناطیسی تأمین می‌شوند، نقش مهمی در پزشکی داشته باشند. در روشی که بر اساس تابش نور در تولید کار مکانیکی از یک مولکول پلیمری آزوبنزنی در تبدیل دو حالت چهره‌بندی سیس و ترانس به همدیگر استفاده شده است نشان می دهد که نیروی حاصل از آن می‌تواند بصورت یک ماشین مولکولی عمل کند. اما چالش اصلی در توسعه چنین ماشین‌های مولکولی یافتن یک منبع انرژی مناسب می‌باشد.[۸]

مراجع:

1- C. F. Holmes, The Electrochemical Society Interface, Fall 2003, 26.

2- C. F. Holmes, The Electrochemical Society Interface. Fall 1999, 32.

3- H. S. Ryu, K.W. Kim, T. H. Nam, J. H. Ahn, H. J. Ahn, 2007.

4- J. M.Tarascon, M. Armand, Nature, 2001, **414**, 359

5- C. Dewan, D. Teeters, J. Power Sources, 2003, 119.

6- C. Litchfield, Medical Product Manufacturing News,2004.