



مقایسه دز مناسب درمان دستگاه پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (DBD) بدون گرید و با استفاده از گرید

استرکی، آسانا*^(۱) - عباسی دوانی، فریدون^(۲) - قاسمی، بهجت^(۳) - شهبازی راد، زهرا^(۴)

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

در این مقاله، پارامترهای الکتریکی دستگاه تخلیه سد دی الکتریک DBD با گاز کاری هوا با استفاده از یک منبع تغذیه ولتاژ بالا (بیشترین ولتاژ قابل تحمل ۳۰kV) و محدوده فرکانس (۷-۱۰ KHz) محاسبه شد. توان لحظه‌ای و توان تخلیه در ولتاژهای (۱۲-۱۶ kV) و در فرکانس ۱۰ KHz برای هر دو حالت بدون گرید و با استفاده از گرید به ازای ولتاژهای (۱۲-۱۶ kV) در زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ثانیه به دست آورده شد و با هم مقایسه شد. هدف از انجام این آزمایش‌ها اندازه‌گیری دز دستگاه مذکور و بدست آوردن دز مناسب برای مقاصد درمانی بر روی موجود زنده می‌باشد.

کلمات کلیدی: سد دی الکتریک DBD، منحنی لیسازو، گرید، دز پلاسما، توان لحظه‌ای توان تخلیه، آسیب‌های DNA.

مقدمه:

در دهه‌های اخیر کاربردهای دستگاه‌های DBD با گاز کاری آرگون و هلیم و غیره بسیار مورد توجه قرار گرفته و مطالعات متعددی در زمینه‌ی محاسبه‌ی توان این نوع دستگاه‌ها انجام شده‌است. توان معمولاً با استفاده از شکل موج ولتاژ و جریان اندازه‌گیری می‌شود و از طریق جریان عبوری از خازن منحنی لیسازو مربوطه رسم می‌شود. مساحت منحنی لیسازو توان مصرف شده در تخلیه به ازای یک دوره تناوب را نشان می‌دهد [۱]. جیانگ و همکاران، مطالعاتی بر روی اندازه‌گیری توان دستگاه و ارتباط بین منحنی‌های لیسازو، ظرفیت خازنی تخلیه و پارامترهای هندسی دستگاه انجام داده‌اند [۲]. بنارد و همکاران، بر روی مصرف توان، تخلیه ظرفیت خازنی و انتشار نور DBD مطالعه کرده و هم‌چنین ویژگی‌های الکتریکی و مکانیکی یک دستگاه پلاسمای DBD سطحی را تعیین کرده‌اند [۳]. بدلیل اهمیت این موضوع در این مطالعه به بررسی توان دستگاه DBD با گاز کاری هوا پرداخته شده‌است. دستگاه‌های DBD در فرآیند بهبود زخم، انعقاد خون و درمان بافت زنده در حوزه پزشکی کاربرد دارند، به‌همین دلیل تعیین ویژگی‌های الکتریکی دستگاه از اهمیت زیادی برخوردار است و مطالعات زیادی نیز در این زمینه انجام شده‌است. برای مثال، فریدمن و همکاران در زمینه انعقاد خون و بهبود زخم



مطالعاتی انجام داده‌اند [۴]. هم‌چنین زهرا شهبازی و همکاران بر روی مشخصات الکتریکی و اندازه‌گیری دز دستگاه پلاسما DBD مورد استفاده برای کاربرد درمانی تحقیق تجربی انجام داده‌اند [۵]. در این تحقیق با هدف سرعت بخشیدن به درمان زخم‌های سطحی دز دستگاه DBD اندازه‌گیری شده است که این دز باید برای استفاده بر روی بافت زنده مناسب باشد.

روش کار :

در این مطالعه توان لحظه‌ای، توان تخلیه و دز دستگاه تخلیه سد دی‌الکتریک DBD فشار اتمسفر، با استفاده از گاز کاری هوا، در دو حالت با استفاده از گرید و بدون استفاده از گرید، تعیین شد. جنس آند دستگاه DBD مس و قطر آن ۲/۵۴cm، جنس سددی‌الکتریک کوارتز و ضخامت آن ۱/۵mm، (شکل (۱) الف) با گرید، ب) بدون گرید) جنس ماده ایزوله تفلون نسوز و ضخامت آن ۸cm است (دستگاه توسط زهرا شهبازی و همکاران در دانشگاه شهید بهشتی ساخته شده است) [۶].



شکل (۱): نمایی از دستگاه تخلیه سد دی‌الکتریک DBD (الف) با گرید، ب) بدون گرید

در این آزمایش توان لحظه‌ای دستگاه با استفاده از یک مقاومت 27Ω در مسیر جریان تعیین شد. هم‌چنین توان تخلیه دستگاه با اندازه‌گیری ولتاژ پلاسما و بارالکتریکی دو سر یک خازن $19nF$ که در مسیر جریان پلاسما قرار داده شده بود، تعیین شد. سپس دز دستگاه مذکور محاسبه و دز حالات با گرید و بدون گرید باهم مقایسه شد. اندازه‌گیری جریان و توان دستگاه تخلیه سد دی‌الکتریک DBD با استفاده از مقاومت 27Ω : برای این کار از یک پروب ولتاژ بالای Tektronix P6015A با پهنای باند بالا استفاده شد و ولتاژ اعمالی پلاسما اندازه‌گیری شد. با استفاده از یک پروب Tektronix P2220 و با استفاده از یک مقاومت کربنی معمولی 27Ω جریان پلاسما (ولتاژ دو سر مقاومت) اندازه‌گیری شد. نتایج توسط یک اسیلوسکوپ دیجیتالی با مشخصات Tektronix DPO7104 1GHz bandwidth مشاهده و داده‌های مورد نظر برای بدست آوردن توان دستگاه ذخیره شد. برای بدست آوردن توان طبق رابطه ی (۱) ابتدا جریان مقاومت و سپس طبق رابطه (۲) توان لحظه‌ای دستگاه اندازه‌گیری شد.

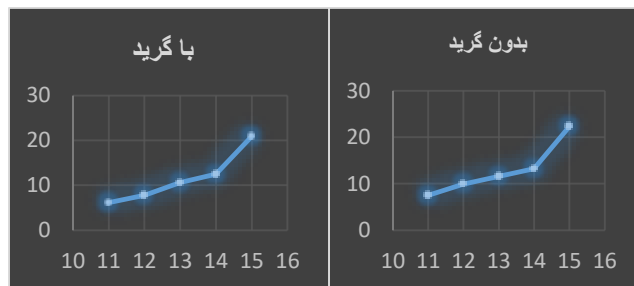
$$V = RI \quad (۱)$$

$$P(t) = V(t)I(t) \quad (۲)$$

توان متوسط با محاسبه میانگین توان در یک دوره تناوب T به صورت زیر بدست می‌آید [۱]:

$$\bar{P}_a = \frac{1}{T} \int_0^T V(t)I(t)dt \quad (۳)$$

نمودار افزایش توان در اثر افزایش ولتاژ به صورت شکل (۲) برای هر دو حالت بدون گرید و با گرید رسم شد. مشاهده می‌شود که با افزایش ولتاژ، توان لحظه‌ای نیز افزایش می‌یابد.



شکل (۲): نمودار افزایش توان در اثر افزایش ولتاژ برای حالات بدون گرید و با گرید

در این آزمایش مشاهده شد که توان دستگاه تخلیه سدی الکتریک DBD بدون استفاده از گرید بیشتر از حالتی است که از گرید استفاده می‌شود. دلیل این امر این است که در محدوده ولتاژ مشترک، جریان عبوری از مقاومت در حالت بدون گرید بیشتر است، در نتیجه جریان بالاتری عبور می‌دهد و توان بالاتری تولید کرده و باعث ایجاد شوک الکتریکی می‌شود. جریان زیاد ناشی از میکروتخلیه‌های دستگاه بدون گرید باعث ایجاد شوک الکتریکی در بدن حیوان شده و دمای بافت موجود زنده در اثر این شوک بالا می‌رود و اثر مخرب بر بدن حیوان می‌گذارد که برای رفع این مشکل جریان از گرید بر روی دی الکتریک استفاده می‌شود و گرید زمین می‌شود. گرید از شبکه‌هایی با پنجره‌های ۱/۴mm و ضخامت ۱mm تشکیل شده است که باعث یکنواخت شدن پلاسما می‌شود.

به همین منظور دستگاه تخلیه سدی الکتریک DBD برای مقاصد درمانی در حالت با گرید مورد استفاده قرار گرفت [۵].



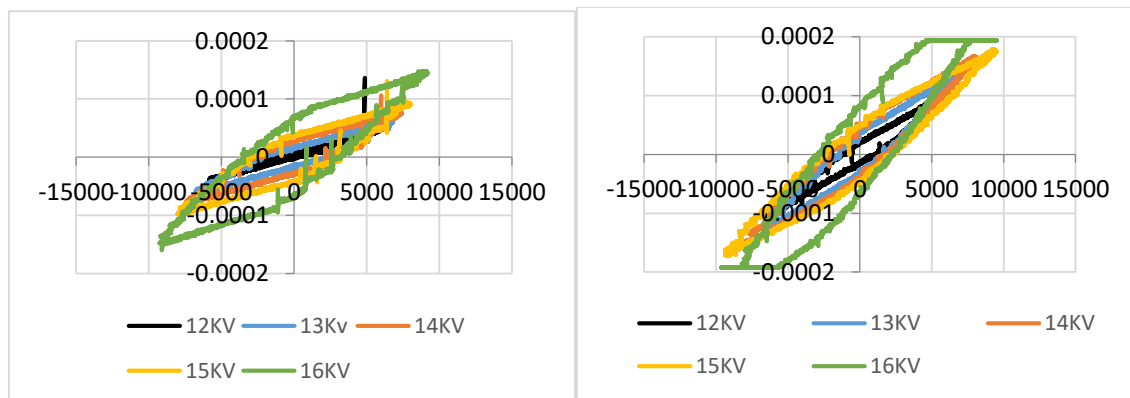
اندازه‌گیری توان تخلیه دستگاه تخلیه سد دی‌الکتریک DBD: در این مرحله نیز مقدار ظرفیت خازن باید به گونه‌ای انتخاب شود که از ظرفیت دستگاه DBD بدون حضور پلاسمای تخلیه بزرگ‌تر باشد. در واقع خازن مانیتور باید به گونه‌ای باشد که برای اندازه‌گیری‌های رایج، ولتاژ مناسبی را نشان بدهد [۵].

به این دلیل که دامنه‌ی جریان خیلی کوچکتر از پیک‌های جریان است، توان لحظه‌ای بدست آمده از طریق مقاومت از قدرت تفکیک خوبی برای همزمانی جریان برخوردار نیست. به همین علت توان تخلیه دستگاه از طریق منحنی لیسازو تعیین می‌شود که با استفاده قرار دادن خازن در مسیر جریان به دست می‌آید. مزیت این روش این است که پیک‌های بلند جریان در محاسبات وجود نخواهند داشت. در نتیجه ولتاژ اعمالی و بارالکتریکی ذخیره شده بر روی خازن بدست آورده و نمودار ولتاژ بر حسب بار خازن ($Q-V$) رسم شد که به آن منحنی لیسازو می‌گویند. سطح زیر منحنی لیسازو مقدار توان تخلیه در هر دوره تناوب را نشان می‌دهد. این منحنی با استفاده از بار خازن به ازای ولتاژهای مختلف رسم می‌شود. بار لحظه‌ای روی خازن مانیتور از رابطه‌ی زیر بدست آورده می‌شود:

$$Q_m(t) = C_m V_m(t) \quad (4)$$

نتایج :

دز پلاسما نیز در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ثانیه تعیین شد. منحنی‌های لیسازو، در یک دوره تناوب و به ازای ولتاژهای (۱۲-۱۶ kV)، که در فرکانس ۱۰ kHz به دست آمده است در شکل (۳) مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ، مساحت منحنی لیسازو، در واقع توان پلاسما افزایش می‌یابد.





شکل (۳): منحنی لیسازو، در یک دوره تناوب در ولتاژهای (۱۶-۱۲ kV) و در فرکانس ۱۰ kHz شکل سمت راست حالت با گیرد، شکل سمت چپ حالت بدون گیرد را نشان می دهند.

در آزمایش های حیوانی، ولتاژ و زمان درمان باید به گونه ای باشد که دز اعمالی به بدن حیوان در محدوده دز مجاز باشد. دز دستگاه با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می شود.

$$dose \left(\frac{j}{cm^2} \right) = \frac{P(w).t(s)}{Area(cm^{-2})} \quad (5)$$

طبق تحقیق دوبرینین و همکارانش [۷]، دزهای کمتر از ($1 j.cm^{-1}$) برای غیرفعال سازی، سترون سازی و درمان پوست مناسب اند، دزهای میانی ($2-6 j.cm^{-1}$) آسیب های DNA قابل ترمیم ایجاد کرده و تکثیر و مهاجرت سلول ها را افزایش داده و باعث آزاد شدن فاکتورهای رشد می شوند. دزهای بالاتر از ($7 j.cm^{-1}$) مرگ سلول های معمولی را در پی دارند. در جدول شماره (۱) که توان و دز دستگاه با استفاده ولتاژ و زمان های مختلف و مساحت منحنی لیسازو در حالت بدون گیرد بدست آمده، مشاهده می شود که با توجه به مقادیر بدست آمده ولتاژهای (۱۲-۱۵ KV) برای آزمایش های حیوانی در حالت بدون استفاده از گیرد مناسب خواهند بود. ولی ولتاژ ۱۶ KV بدلیل دز بالاتر از ($7 j.cm^{-1}$) در زمان درمان ۴۰ ثانیه مناسب نخواهد بود.

جدول (۱): توان و دز دستگاه با استفاده ولتاژ و زمان های مختلف و مساحت منحنی لیسازو در حالت بدون گیرد.

ولتاژ	مساحت لیسازو	دز ۱۰ ثانیه	دز ۲۰ ثانیه	دز ۳۰ ثانیه	دز ۴۰ ثانیه
۱۲	۰/۳۲۴۱	۰/۴۰۶۴	۰/۸۱۲۹	۱/۲۱۹۳	۱/۶۲۵۸
۱۳	۰/۴۱۷۵	۰/۵۲۳۴	۱/۰۴۶۹	۱/۵۷۰۴	۲/۰۹۳۹
۱۴	۰/۵۴۶۰	۰/۶۸۴۵	۱/۳۶۹۱	۲/۰۵۳۷	۲/۷۳۸۳
۱۵	۰/۷۸۸۸	۰/۹۸۹۱	۱/۹۷۸۲	۲/۹۶۷۳	۳/۹۵۶۴
۱۶	۱/۴۹۷۳	۱/۸۷۷۳	۳/۷۵۴۷	۵/۶۳۲۱	۷/۵۰۹۵

در جدول شماره (۲) نیز که توان و دز دستگاه با استفاده ولتاژ و زمان های مختلف و مساحت منحنی لیسازو در حالت با گیرد بدست آمده، مشاهده می شود که ولتاژ ۱۶ KV نیز در ۴۰ ثانیه درمان برای آزمایش های حیوانی مناسب است.



جدول (۲): توان و دز دستگاه با استفاده ولتاژ و زمان‌های مختلف و مساحت منحنی لیسازو در حالت با گرید.

ولتاژ	مساحت لیسازو	دز ۱۰ ثانیه	دز ۲۰ ثانیه	دز ۳۰ ثانیه	دز ۴۰ ثانیه
۱۲	۰/۶۰۰۴	۰/۷۵۲۸	۱/۵۰۵۷	۲/۲۵۸۶	۳/۰۱۱۴
۱۳	۰/۶۱۹۱	۰/۷۷۶۳	۱/۵۵۲۶	۲/۳۲۸۹	۳/۱۰۵۳
۱۴	۰/۶۴۶۹	۰/۸۱۱۱	۱/۶۲۲۳	۲/۴۳۳۴	۳/۲۴۴۶
۱۵	۰/۸۸۷۸	۱/۱۱۳۱	۲/۲۲۶۳	۳/۳۳۹۵	۴/۴۵۲۶
۱۶	۱/۲۴۲۰	۱/۵۵۸۰	۳/۱۱۶۱	۴/۶۷۴۱	۶/۲۳۲۲

بنابراین در حالت بدون گرید چون دز دستگاه به ازای ولتاژ و زمان‌های یکسان بیشتر است، حیوان در معرض پرتودهی بیشتری قرار می‌گیرد، بنابراین بهتر است که در آزمایش‌های بیولوژیکی بر روی موجود زنده به علت ایمنی بیشتر و دز کمتر از گرید استفاده شود.

بحث و نتیجه گیری :

نتیجه‌ی مقایسه حالت بدون گرید و با گرید این بود که در حالت بدون گرید دامنه پیک‌های جریان به وضوح دیده می‌شوند ولی با استفاده از گرید مشاهده شد تعداد و دامنه این پیک‌ها کم‌تر می‌شود و یکنواختی جریان بیشتر می‌شود، در نتیجه توان و دز دستگاه در حالت با گرید برای استفاده در مقاصد درمانی مناسب‌تر خواهد بود. و همچنین در حالت با گرید از وارد شدن شوک الکتریکی به بدن حیوان جلوگیری خواهد شد.

مراجع :

۱. Ashpis, D., M. Laun, and E. Griebeler. *Progress toward accurate measurements of power consumption of DBD plasma actuators*. in *50th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. 2012.
۲. Tao, S., et al., *Experimental study on repetitive unipolar nanosecond-pulse dielectric barrier discharge in air at atmospheric pressure*. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2008. **41**(21): p. 215203.
۳. Benard, N. and E. Moreau, *Electrical and mechanical characteristics of surface AC dielectric barrier discharge plasma actuators applied to airflow control*. *Experiments in Fluids*, 2014. **55**(11): p. 1846.
۴. Fridman, G., et al., *Plasma Chem Plasma Process*. 2006.
۵. Shahbazi Rad, Z. and F. Abbasi Davani, *Experimental investigation on electrical characteristics and dose measurement of dielectric barrier discharge plasma device used for therapeutic application*. *Review of Scientific Instruments*, 2017. **88**(4): p. 043504.



۶. Rad, Z.S. and F.A. Davani, *Non-thermal atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma source construction and investigation on the effect of grid on wound healing application*. Clinical Plasma Medicine, 2016. **4**(2): p. 56-64.
۷. Dobrynin, D., et al., *Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue*. New Journal of Physics, 2009. **11**(11): p. 115020.