

طراحی و ساخت جت پلاسمای غیرحرارتی فشار اتمسفر با گاز کاری آرگون برای کاربرد در بهبود زخم

زهرا شهبازی راد^۱، فریدون عباسی دوانی^۱ و غلامرضا اطاعتی^۲

۱. دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

۲. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندس انرژی و فیزیک

پست الکترونیکی: z_shahbazi@sbu.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹)

چکیده

در این پژوهش، یک دستگاه جت پلاسمای فشار اتمسفری که با گاز کاری آرگون کار می‌کند، ساخته شد. هدف از ساخت این دستگاه کاربرد آن در بهبود زخم‌های سطحی روی پوست است. در همین راستا ۵ موش انتخاب شدند. نمونه‌های زخم روی موش‌ها به مدت ۵ روز و به ازای هر روز ۳۰ s پرتودهی شدند. به مدت ۱۲ روز زخم‌ها مورد بررسی قرار گرفتند و زخم‌های کنترل و زخم‌های تحت درمان در این ۱۲ روز با همدیگر مقایسه شدند. جریان، ولتاژ و توان دستگاه اندازه‌گیری شد و طیف گسیل نوری آن به دست آمد. همچنین اندازه‌گیری کاهش زخم نسبت به روز ایجاد زخم به ازای روزهای مختلف انجام شد و با هم مقایسه شد. آزمایش‌ها نشان داد که زخم درمان شده با جت پلاسمای آرگون به خصوص در روزهای اول بعد از ایجاد زخم، درمان سریع‌تری را نسبت به زخم کنترل نشان می‌دهد. تحلیل آماری بر روی ابعاد زخم‌های تحت درمان و زخم کنترل انجام شد و نتایج با هم مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: پلاسمای فشار اتمسفری، پلاسمای جت آرگون، بهبود زخم

۱. مقدمه

تشکیل شده و پس تاب^۱ آن به سطح بافت برخورد می‌کند (مانند جت پلاسما). در این روش اثرات درمانی یا میکروپ زدایی توسط اجزای خنثی با طول عمر زیاد ایجاد می‌شود، زیرا اجزایی مانند ذرات باردار در منطقه بیرون منطقه تشکیل پلاسما نیستند و طول عمر کوتاه دارند [۳ و ۴]. (۲) در روش دوم، پلاسما در تماس مستقیم با بافت زنده تولید می‌شود (مانند

امروزه توجه به پلاسمای غیرحرارتی فشار اتمسفری برای کاربرد در درمان بافت زنده بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ این حوزه اصطلاحاً "پلاسمای پزشکی" نامیده می‌شود [۱ و ۲]. پلاسمای غیرحرارتی فشار اتمسفری به دو صورت در کاربردهای پزشکی استفاده می‌شود: (۱) پلاسما جای دیگر

۱. Afterglow

پلاسمای تخلیه سد دی‌الکتریک (DBD). در این روش، دی‌الکتریک موجود در ساختار دستگاه، جریانی را که قرار است به بافت برسد محدود کرده و از آسیب‌های حرارتی جلوگیری می‌کند [۵].

بسیاری از دستگاه‌های پلاسمای فشار اتمسفری توسط پارامترهایی مانند گاز کاری، بسامد منبع تغذیه، شکل و هندسه الکتروود توصیف می‌شوند [۶].

در سال‌های اخیر طیف گسترده‌ای از چشمه‌های پلاسمایی برای کاربردهای پزشکی مورد توجه قرار گرفته‌اند که شامل، قلم‌های پلاسمایی، تخلیه‌های سد دی‌الکتریک (DBD)، مشعل‌های تخلیه تابان فشار اتمسفری (APGD)، جت‌های پلاسمایی و غیره است [۷]. از میان دستگاه‌های ذکر شده دو دستگاه بیشترین کاربرد را در کاربردهای پزشکی دارند: ۱) پلاسمای تخلیه سد دی‌الکتریک سطحی با گاز کاری هوا [۸ و ۹]، جت‌های پلاسمای فشار اتمسفری (با گاز کاری آرگون و یا هلیم) [۱۰].

طیف گسیل این نوع پلاسماهای فشار اتمسفری، وجود تعداد زیادی اجزای فعال و برانگیخته مانند اجزای فعال اکسیژن (ROS) و اجزای فعال نیتروژن (RNS) را نشان می‌دهد. این اجزای فعال شامل O، OH، و NO به عنوان اجزای شدیداً اکسید کننده هستند [۱۱-۱۳]. با توجه به این که این اجزای فعال، اجزای حیاتی در سلامتی سلول هستند، وجود این اجزای فعال، باعث می‌شود چشمه پلاسمای برای کاربردهای پزشکی مناسب باشد [۱۴ و ۱۵]. وجود اجزای فعال مختلف در پلاسمای باعث میکرووب زدایی خیلی خوب می‌شود. بنابراین از پلاسمای برای کاربرد بهبود زخم استفاده می‌شود.

مطالعات بسیاری بر روی تأثیر پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر بر روی بهبود زخم انجام شده است. الیزابت گارسیا و همکاران [۱۶] روی افزایش سرعت بهبود زخم روی پوست موش تحقیقاتی انجام داده‌اند. آنها از درمان ترکیبی قلم پلاسمایی هلیم و آرگون استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که علت تسریع شدن در بهبود زخم با کمک پلاسمای هلیم و آرگون به خاطر تشکیل اجزای فعال واکنشی مانند NO است.

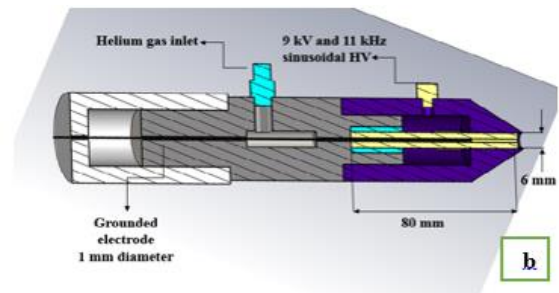
فریدمن و همکاران [۱۷]، از پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر برای انعقاد خون و میکرووب زدایی سطح زخم استفاده کرده‌اند. در این تحقیق پلاسمای DBD برای درمان استفاده شده است. آنها گزارش داده‌اند که این تکنیک زمان بهبود زخم را کاهش می‌دهد و مانع از آلوده شدن زخم می‌شود. شهرام صالحی و همکاران [۱۸] تأثیر پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر بر روی بهبود زخم را بررسی کرده‌اند. در پشت موش‌هایی با نژاد ویستار زخم‌هایی سوختگی از نوع درجه یک ایجاد شد. موش‌ها به مدت ۳۰ بار در روز هر بار به مدت ۶۰ ثانیه و به مدت ۴ روز مورد پرتودهی قرار گرفتند. اندازه‌گیری‌ها در روزهای ۴، ۱۱، ۲۲ و ۳۴ انجام شد. نتیجه آزمایش نشان داد که درمان با پلاسمای منجر به کاهش نیاز به تولید لوکوسیت است. سارا فتح الله و همکاران [۱۹] تأثیر پلاسمای فشار اتمسفری بر روی بهبود زخم در موش‌های دیابتی را مورد بررسی قرار دادند. آنها زخم موش‌های دیابتی را به مدت ۱۰ دقیقه مورد درمان با پلاسمای قرار دادند. نتایجی که در این آزمایش به دست آمد این بود که نرخ بهبود زخم‌ها در زخم‌های دیابتی کندتر از زخم‌های غیردیابتی است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که درمان با پلاسمای، نرخ بهبود زخم را در زخم‌های غیردیابتی افزایش می‌دهد. در زخم‌های دیابتی مشاهده شد که بعد از درمان با پلاسمای در مقایسه با زخم‌هایی که تحت درمان قرار نگرفته‌اند، انقباض زخم اتفاق می‌افتد. جو مین و همکاران [۲۰] تأثیر دوگانه جت پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر را بر روی بهبود زخم پوستی موش بررسی کرده‌اند. آنها آزمایش خود را بر روی ۵۰ موش انجام دادند و موش‌ها را به ۵ گروه که هر گروه شامل ۱۰ موش است تقسیم کردند. آنها ۵ زمان درمان مختلف را بررسی کردند (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه). نتایج آزمایش نشان داد که درمان روزانه بین ۴۰-۱۰ ثانیه اجازه بازبایی به سلول‌های لایه درم پوست و رگ‌های خونی می‌دهد و اجازه می‌دهد که زخم زودتر از حالت عادی ترمیم شود و به عبارتی زمان بهبود زخم را کاهش می‌دهد. همچنین دریافتند که زمان درمان ۵۰ ثانیه اثر منفی بر روی بهبود زخم می‌گذارد.

در این تحقیق یک دستگاه پلاسمای جت فشار اتمسفری که با

۱. Atmospheric Pressure Glow Discharge



(ب)



(الف)

شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) دستگاه جت پلاسمای آرگون: (الف) طرح‌واره دستگاه جت پلاسما، (ب) مولد جت پلاسمای ساخته شده و جت آرگون خروجی.

آرگون کاری آرگون کار می‌کند، ساخته شد. شکل ۱. الف طرح‌واره دستگاه پلاسمای جت ساخته شده و ابعاد دستگاه را نشان می‌دهد. در شکل ۱. ب دستگاه جت پلاسمای ساخته شده و جت آرگون تولید شده قابل مشاهده است.

دستگاه مولد جت پلاسما شامل یک تیوب از جنس کوارتز با قطر داخلی ۶ mm و قطر خارجی ۸ mm است. یک الکتروود آلومینیومی در فاصله ۱۰ mm از سر تیوب قرار داده می‌شود که نقش الکتروود ولتاژ بالا را دارد و یک الکتروود سوزنی شکل با قطر ۱ mm به عنوان الکتروود زمین در مرکز تیوب قرار می‌گیرد. یک منبع تغذیه امواج سینوسی با گستره دامنه خروجی ۰-۳۰ kVpp و گستره بسامدی ۱۲-۱۰ kHz برای انجام تخلیه‌های الکتریکی ساخته شد. چیدمان آزمایش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

در این آزمایش با استفاده از یک مقاومت 27Ω جریان عبوری از پلاسما اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ولتاژ دو سر مقاومت از کاوه ولتاژ Tektronix P2220 برای اندازه‌گیری ولتاژ دو سر مقاومت استفاده شد. اندازه‌گیری ولتاژ اعمالی به الکتروودهای دستگاه جت پلاسما توسط کاونده Tektronix P6015A با پهنای باند زیاد انجام شد. برای ثبت و مشاهده شکل موج جریان و ولتاژ، از اسیلوسکوپ دیجیتال (Tektronix DPO7104, 1 GHz bandwidth) استفاده شد.

از طیف نگاری گسیل نوری (OES) با گستره طول موجی ۱۰۰۰-۲۰۰ nm که مجهز به یک طیف نگار CCD (با دقت $FWHM < 2 \text{ nm}$) برای تعیین اجزای موجود در طیف

گاز کاری آرگون کار می‌کند، ساخته شد. پارامترهای الکتریکی دستگاه و همچنین طیف گسیلی نوری پلاسمای تولید شده اندازه گرفته شد. سپس دستگاه ساخته شده بر روی نمونه‌های حیوانی موش از نوع Balb/c اعمال شد. نتایج آزمایش‌های حیوانی شامل مقایسه نسبت کاهش ابعاد زخم در زخم‌های کنترل و زخم‌های درمانی و ریخت‌شناسی سطح زخم در این مقاله گزارش شده است. در واقع هدف از این تحقیق مطالعه تأثیر پلاسمای جت آرگون غیرحرارتی فشار اتمسفری بر روی زمان بهبود زخم است. در این تحقیق زمان درمان ۵ روز و به مدت روزانه ۳۰ ثانیه انتخاب شد. انتخاب ۵ روز به این دلیل است که امکان آلودگی باکتریایی در فاز آماسی^۱ بهبود زخم است که زمان این فاز بین روزهای ۴-۶ است. در مرجع [۲۰] زمان‌های درمان مختلف (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰) انجام شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. برای جلوگیری از درمان اضافی بر روی حیوان هر چه تعداد روزهای درمانی کمتر باشد، هم حیوان تحت دز پلاسمایی کمتر قرار می‌گیرد و حیوان احساس بهتری خواهد داشت و هم مصرف برق مورد نیاز برای ایجاد تخلیه کاهش پیدا می‌کند.

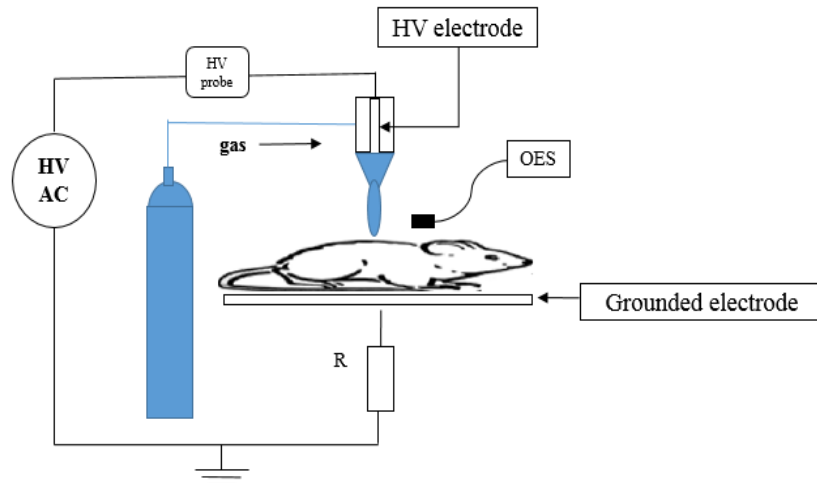
۲. مواد و روش‌ها

۱. چیدمان دستگاه جت پلاسمای آرگون و ابزارهای

تشخیصی

در این تحقیق یک دستگاه پلاسمای جت که با گاز کاری

۱. Inflammatory



شکل ۲. چیدمان آزمایش بررسی بهبود زخم با استفاده جت پلاسمای آرگون.



(ب)



(الف)

شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) زخم تحت درمان با دستگاه جت پلاسمای آرگون: (الف) دو زخم با قطر ۶ mm، (ب) درمان زخم سمت چپ با پلاسمای جت آرگون.

زخم‌ها دایروی با قطر ۶ mm در سمت راست و چپ پشت موش بالاتر از کمر ایجاد شد که زخم سمت راست به عنوان زخم کنترل و زخم سمت چپ به عنوان زخم تحت درمان انتخاب شد (شکل ۳). زخم‌ها با استفاده از یک سوراخ کننده پوستی ایجاد شدند.

۳.۲. تحلیل آماری

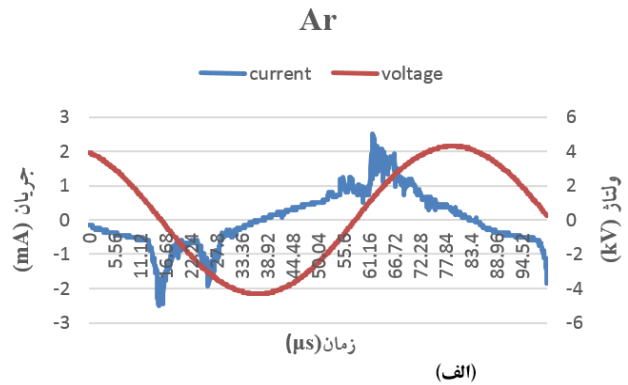
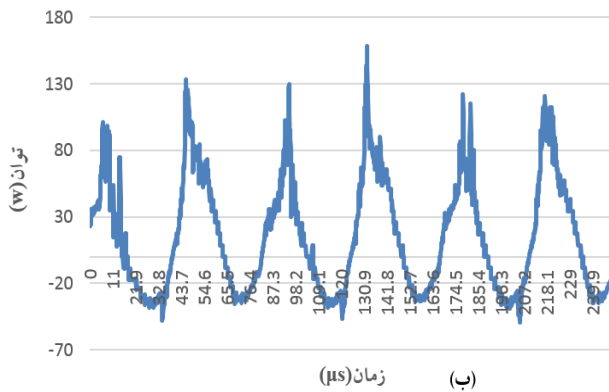
در این آزمایش‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده برای مساحت زخم از نظر آماری با استفاده از روش تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) و از طریق آزمون توکی انجام شد. داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار استاندارد گزارش شدند. مقدار $p < 0.05$ از نظر آماری اهمیت دارد.

پلاسمای جت آرگون استفاده شد.

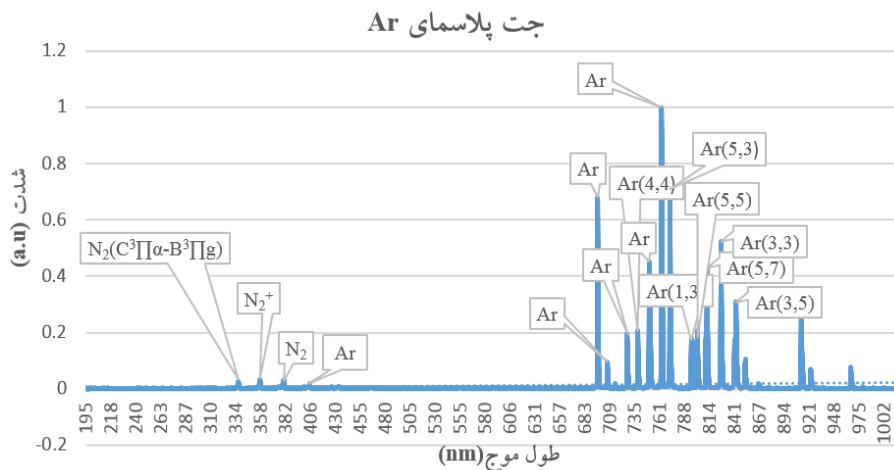
۲.۲. نمونه‌های حیوانی و مدل زخم

در این تحقیق از ۵ موش نوع Balb/c با عمر حدود ۶ هفته و با گستره وزنی ۲۵-۳۰ g استفاده شد. موش‌ها در شرایط آزمایشگاهی مرکز تحقیقات حیوانی دانشگاه بقیه‌الله، و در فشار اتمسفر و در دمای اتاق نگهداری می‌شدند. رطوبت نسبی آزمایشگاه $10 \pm 18\%$ و موش‌ها در شرایط ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار داشتند. همچنین موش‌ها دسترسی آزاد به آب و غذا داشتند.

موش‌ها از طریق تزریق وریدی کیتامین / زایلوزین (با نسبت وزنی ۱۰۰ mg/kg و ۱۰ mg/kg) بیهوش شدند.



شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) (الف) شکل موج نمونه‌های ولتاژ و جریان پلاسمای اندازه‌گیری شده توسط مقاومت 27Ω برای جت پلاسمای آرگون به ازای بسامد ولتاژ ورودی ۱۱ kHz و بیشینه دامنه ولتاژ ۹kVpp، (ب) توان لحظه‌ای به ازای سه دوره تناوب.



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) طیف گسیل نوری جت پلاسمای آرگون.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. پارامترهای الکتریکی چشمه پلاسمایی

شکل ۴، شکل موج جریان و ولتاژ و توان دستگاه جت پلاسمای آرگون را نمایش می‌دهد. شکل ۴. الف شکل موج جریان و ولتاژ را نمایش داده و شکل ۴. ب شکل موج توان که حاصل ضرب ولتاژ و جریان است را نمایش می‌دهد.

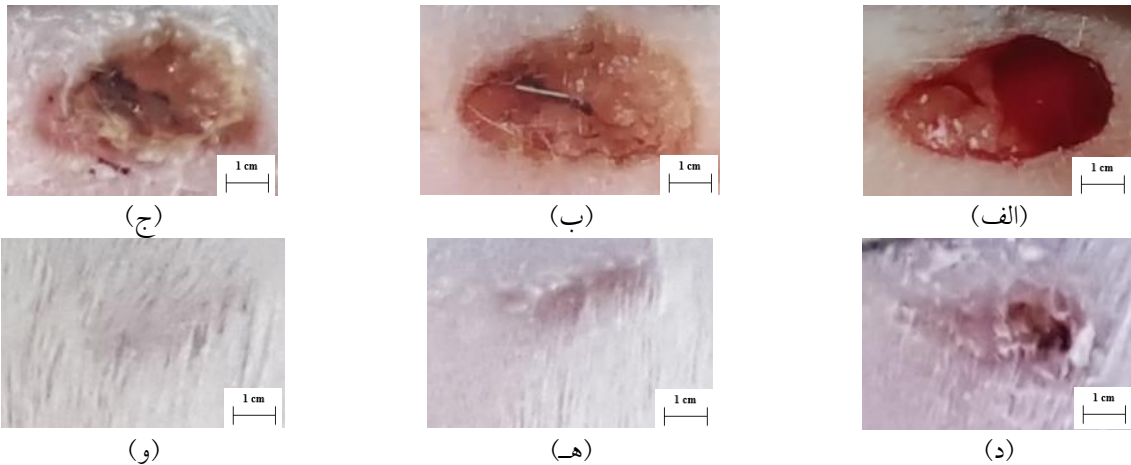
همان گونه که در شکل ۳. الف مشاهده می‌شود مقدار جریان عبوری از بدن حیوان کمتر از ۵ mA (که عامل آسیب به بدن موجود زنده است [۲۱]) است. بنابراین این مقدار جریان به بدن موجود زنده آسیب نمی‌رساند. متوسط توان تخلیه برای یک دوره تناوب ۱۴/۸۶ وات به دست آمد.

۳.۲. نتایج طیف نگاری گسیل نوری

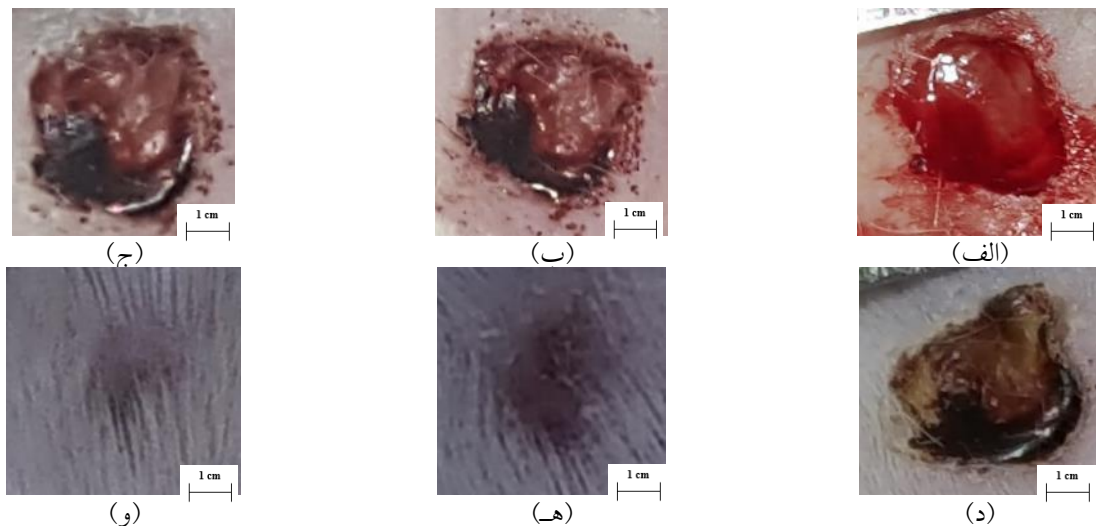
طیف گسیل نوری پلاسمای جت آرگون در گستره ۱۰۰۰-۲۰۰ nm مطابق شکل ۵ به دست آمد. اجزای واکنشی نیتروژن (RNS) که در بهبود زخم تأثیر دارد در طیف مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در طیف گسیل نوری N_2^+ در طول موج ۳۵۷ nm و N_2 در طول موج‌های ۳۳۷ nm و ۳۸۰ nm مشاهده می‌شود. همچنین باندهای اجزای فعال Ar مطابق شکل قابل مشاهده است. مرجعی که برای شناسایی طول موج‌ها استفاده شده، "PLASUS SpecLine Database" است [۲۲].

۳.۳. نتایج بررسی زخم و ریخت‌شناسی پوست

شکل ۶ و شکل ۷ به ترتیب تصاویر نمونه‌ای از یک نمونه زخم



شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) مراحل بهبود زخم درمان شده با جت پلاسمای آرگون در هوا (الف) در روز اول درمان، (ب) روز سوم، (ج) روز پنجم، (د) روز هشتم، (ه) روز دهم، و (و) روز دوازدهم بعد از اولین درمان.

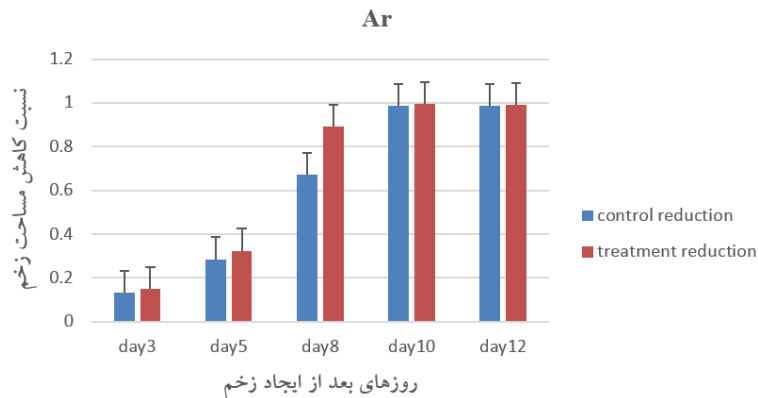


شکل ۷. (رنگی در نسخه الکترونیکی) مراحل بهبود زخم کنترل در درمان با جت پلاسمای آرگون: (الف) در روز اول درمان، (ب) روز سوم، (ج) روز پنجم، (د) روز هشتم، (ه) روز دهم، و (و) روز دوازدهم بعد از اولین درمان.

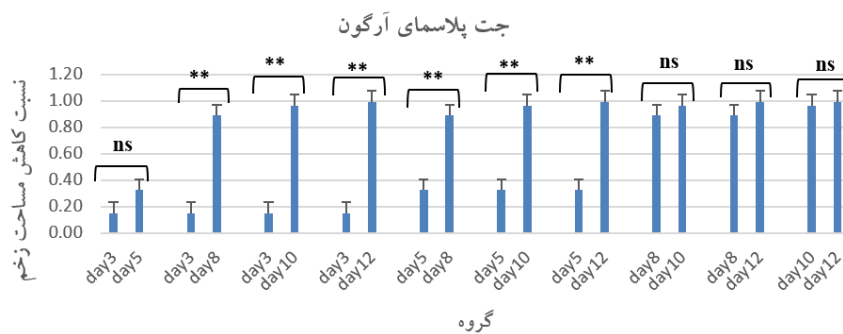
۷. ب. پوسته زخم در روز پنجم بعد از اولین درمان شروع به جدا شدن و افتادن می‌کند (شکل ۷. ج) و در روز هشتم به صورت کامل جدا شده و می‌افتد (شکل ۶. د). زخم تحت درمان در روز دهم به صورت کامل بسته شده و بهبود می‌یابد (شکل ۶. ه). پوسته زخم بر روی زخم کنترل همچنان تا روز هشتم بر روی زخم مشاهده می‌شود (شکل ۷. د). پوسته زخم بر روی زخم کنترل در روز دهم جدا شده است (شکل ۷. ه). هیچ آسیب جانبی در طول درمان بر روی زخم کنترل و زخم درمانی مشاهده نشد.

تحت درمان با پلاسمای جت آرگون به مدت ۵ روز متوالی و به ازای هر روز ۳۰ s و زخم کنترل را نمایش می‌دهد. تصاویر در روزهای مشخصی بعد از ایجاد زخم (روز سوم، پنجم، هشتم، دهم و دوازدهم گرفته شده است. همان گونه که شکل ۶. ب نشان می‌دهد پوسته زخم در روز سوم بعد از اولین درمان بر روی زخم تحت درمان با پلاسمای ایجاد شده است شکل ۶. ب، در حالی که زخم کنترل همچنان ملتهب است و آگزودای سرریزی^۱ همچنان بر روی زخم کنترل مشاهده می‌شود (شکل

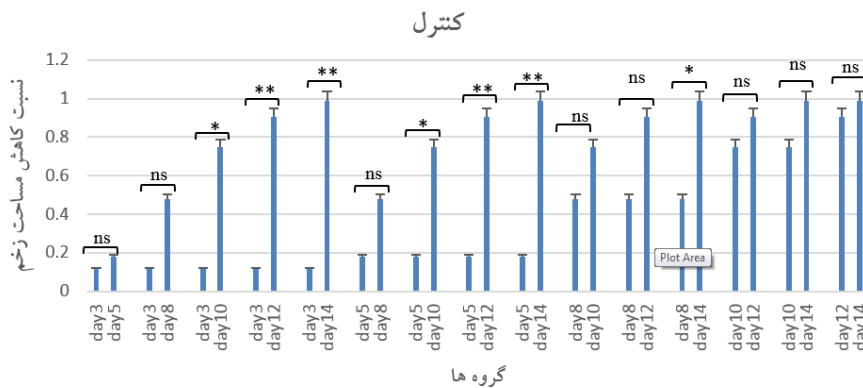
۱. Serous exudate



شکل ۸. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمودار نسبت کاهش مساحت زخم (زخم کنترل و زخم تحت درمان جت پلاسمای آرگون).



شکل ۹. (رنگی در نسخه الکترونیکی) متوسط مقادیر کاهش مساحت زخم بر حسب روزهای مختلف بعد از ایجاد زخم برای درمان با پلاسمای آرگون (ناچیز: ns: $p < 0.05$; **: $p < 0.001$).



شکل ۱۰. (رنگی در نسخه الکترونیکی) متوسط مقادیر کاهش مساحت زخم کنترل بر حسب روزهای مختلف بعد از ایجاد زخم (ناچیز: ns: $p < 0.05$; **: $p < 0.001$).

که بهبود زخم توسط درمان با پلاسمای جت آرگون سرعت می‌یابد.

شکل‌های ۹ و ۱۰ مقایسه متوسط مقادیر کاهش مساحت زخم در روزهای مختلف بعد از ایجاد زخم برای گروه‌های مختلف و برای درمان با پلاسمای آرگون و زخم کنترل را نمایش می‌دهند. گروه‌ها در این مقایسه روزهای بررسی (روز سوم، روز

شکل ۸ نمودار نسبت کاهش مساحت زخم بر حسب روزهای مشخص (روزهای سوم، پنجم، هشتم و دوازدهم) بعد از ایجاد زخم نسبت به مساحت زخم در لحظه ایجاد نمایش می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، کاهش مساحت زخم در زخم‌های تحت درمان نسبت به زخم‌های کنترل در اغلب روزها به خصوص در روز هشتم بیشتر است و این به این معنی است

پنجم، روز هشتم، روز دهم و روز دوازدهم) است. همان گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، بین روزهای سوم و هشتم، سوم و دهم، سوم و دوازدهم، پنجم و هشتم، پنجم و دهم، پنجم و دوازدهم، تفاوت معنادار مشاهده می‌شود ($p < 0/001$). این اختلاف معنادار به این معنی است که کاهش زخم در این گروه‌ها قابل توجه بوده است. در مقایسه روزهای سوم و پنجم، هشتم و دهم، هشتم و دوازدهم، و دهم و دوازدهم، تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p > 0/05$).

همان گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود اختلاف بین روزهای درمانی سوم و پنجم، پنجم و هشتم، سوم و هشتم، هشتم و دهم، هشتم و دوازدهم، دهم و دوازدهم و چهاردهم و دهم و چهاردهم اختلاف معناداری نیست ($p > 0/05$) و ابعاد زخم در مقایسه با بین این روزها تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است؛ در حالی که بین روزهای درمانی پنجم و دهم، هشتم و چهاردهم، سوم و دهم اختلاف معنادار مشاهده می‌شود ($p < 0/05$). بین روزهای سوم و دوازدهم، سوم و چهاردهم، پنجم و دوازدهم و پنجم و چهاردهم هم تغییر قابل توجهی در ابعاد زخم مشاهده می‌شود ($p < 0/001$).

همان گونه که از مقایسه شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود، زخم‌های درمانی در روزهای سوم و پنجم اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند، در حالی که در زخم‌های کنترل بین این دو روز اختلاف قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. همچنین در زخم‌های درمانی بین روزهای سوم و هشتم اختلاف قابل توجهی مشاهده می‌شود، در صورتی که در زخم کنترل اختلاف قابل توجهی وجود ندارد. همین مسئله نشان می‌دهد که پلاسمای جت آرگون به خصوص در روزهای اول بعد از ایجاد زخم، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در بهبود زخم دارد.

۴. نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق ساخت دستگاه پلاسمای غیرحرارتی

مراجع

فشار اتمسفری برای بررسی تأثیر پلاسمای تولیدی بر روی سرعت بهبود زخم بود. در همین راستا یک نمونه دستگاه پلاسمای جت غیرحرارتی که با گاز کاری آرگون و با منبع تغذیه ولتاژ بالای سینوسی کار می‌کند، ساخته شد. بعد از ساخت دستگاه پارامترهای الکتریکی آن، که شامل شکل موج ولتاژ و جریان خروجی دستگاه است، تعیین شد. همچنین طیف گسیل نوری پلاسمای تولید شده توسط دستگاه جت پلاسمای تعیین شد. علاوه بر اجزای واکنشی و فعال Ar، اجزای فعال و واکنشی نیتروژن و اکسیژن (RNS و ROS) که نقش مهمی در بهبود زخم و کاربردهای درمانی دارند نیز در طیف مشاهده شد. آزمایش‌های حیوانی بر ۵ نمونه موش از نوع Balb/c انجام شد. کار درمان ۵ روز متوالی و به ازای هر روز ۳۰ s انجام شد. مشاهده ریخت‌شناسی سطح زخم در مدت ۱۲ روز و همچنین نتایج اندازه‌گیری کاهش ابعاد زخم برای روزهای مشخص بعد از اولین درمان نشان داد که درمان با پلاسمای جت آرگون باعث تسریع در فرایند بهبود زخم، به خصوص در روزهای اول که احتمال ایجاد عفونت در زخم وجود دارد، می‌شود. انتخاب ۵ روز به این دلیل است که امکان آلودگی باکتریایی در فاز آماسی بهبود زخم است که زمان این فاز بین روزهای ۴-۶ است. در مرجع [۲۰] زمان‌های درمان مختلف (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۲۰، ۱۰) ثانیه انتخاب شده است و به ازای هر گروه ۱۴ روز درمان انجام شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. برای جلوگیری از درمان اضافی بر روی حیوان هر چه تعداد روزهای درمانی کمتر باشد، هم حیوان تحت دز پلاسمایی کمتر قرار می‌گیرد و حیوان احساس بهتری خواهد داشت و هم مصرف برق مورد نیاز برای ایجاد تخلیه کاهش پیدا می‌کند. مشاهده شد که با این زمان درمان، زخم‌ها در روزهای ابتدایی بهبود بیشتری را از خود نشان دادند در حالی که در مرجع [۲۰] با ۱۴ روز درمان به نتایج مشابهی دست یافتند. کاهش زمان درمان تا ۵ روز درمان مناسبی را نشان می‌دهد.

2. M G Kong, G Kroesen, G Morfill, T Nosenko, T Shimizu, J van Dijk, and J L Zimmermann, *New J.*

1. D Dobrynin, G Fridman, G Friedman, and A Fridman, *New J. Phys.* **11** (2009) 115020.

- A Bowman, R L Chiavarini, M Stacey, and K H Schoenbach, *Appl. Phys. Lett.* **92** (2008) 241501.
15. H S Uhm, J P Lim, and S Z Li, *Appl. Phys. Lett.* **90** (2007) 26150.
16. E García-Alcantara, R López-Callejas, P R Morales-Ramírez, R Peña-Eguiluz, R Fajardo-Muñoz, A Mercado-Cabrera, S R Barocio, R Valencia-Alvarado, B G Rodríguez-Méndez, A E Muñoz-Castro, A de la Piedad-Beneitez, I A Rojas-Olmedo, *Arch. Med. Res.* **44** (3) (2013) 169.
17. Gregory Fridman, Marie Peddinghaus, Alexander Fridman, Manjula Balasubramanian, Alexander Gutsol, Gary Friedman, , 17th International Symposium on Plasma Chemistry, At Toronto, Canada, August (2005).
18. S H Salehi, A Shokri, M R Khani, M R Bigdeli, and B Shokri, *Biointerphases* **10** (2) (2015) 029504.
19. S Fathollah, S H Mirpour, P Mansouri, A R Dehpour, M Ghoranneviss, N Rahimi, Z Safaie Naraghi, and R Chalangari, *Katalin Martits Chalangari, Scientific Reports* **6** (2016)19144.
20. Gui-Min Xu, Xing-Min Shi, Jing-Fen Cai, Si-Le Chen, Cong-Wei Yao, Zheng-Shi Chang, Guan-Jun Zhang, Ping Li, *Wound Repair Regen* **23** (2015) 878.
21. Bonnie Keillor Slaten, D.F.B., *IEEE Chapter*.
22. http://plasmus.de/index.php?page=software_specline&lang=
- Phys.* **11** (2009) 115012.
3. E SladekR and E JandStoffels, *J. Phys. D. Appl. Phys.* **38** (2005) 1716.
4. J Goree, B Liu, D Drake, and E Stoffels, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **34** (2006) 1317.
5. G Fridman, A D Brooks, M Balasubramanian, A Fridman, A Gutsol, V N Vasilets, H Ayan, and G Friedman, *Plasma Process. Polym.* **4** (2007) 370.
6. Andrei Vasile Nastuta, Ionut Topala, Constantin Grigoras, Valentin Pohoata , Gheorghe Popa., *Phys. D: Appl. Phys.* **44** (2011) 105204.
7. Klaus-Dieter Weltmann, Thomas von Woedtke, *The European Physical Journal Applied Physics* **55**(2011) 1.
8. M Hähnel, T h Von Woedtke, and K-D Weltmann, *Plasma Process. Polym.* **7** (2010) 244.
9. K Oehmigen, M Hähnel, R Brandenburg, C h Wilke, and K-D Weltmann, *Plasma Process. Polym.* **7** (2010) 250.
10. K-D Weltmann, E Kindel, R Brandenburg, C Meyer, R Bussiahn, Ch Wilke, and Th Von Woedtke, *Contrib. Plasma Phys.* **49** (2009) 631.
11. B Benstaali *et al.*, *Plasma Chem. Plasma Proc.* **22** (2002) 553.
12. B Benstaali *et al.*, *Eur. Phys. J. Appl.* **4** (1998)171.
13. M Laroussi and F Leipold, *Int. J. Mass. Spectrom.* **233** (2004) 8.
14. J F Kolb, A A H Mohamed, R O Price, R J Swanson,