

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

زهره 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 پس‌تاب^۱ آن به سطح بافت برخورد می‌کند (مانند جت پلاسما). در این روش اثرات درمانی یا میکروب 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 دی الکتریک (DBD)). در این روش، دی الکتریک موجود در ساختار دستگاه، جریانی را که قرار است به بافت برسد محدود کرده و از آسیب های حرارتی جلوگیری می کند [۵].

بسیاری از دستگاه های پلاسمای فشار اتمسفری توسط پارامترهایی مانند گاز کاری، بسامد منبع تغذیه، شکل و هندسه الکترود توصیف می شوند [۶].

در سال های اخیر طیف گسترده ای از چشمه های پلاسمایی برای کاربردهای پزشکی مورد توجه قرار گرفته اند که شامل، قلم های پلاسمایی، تخلیه های سد دی الکتریک (DBD)، مشعل های تخلیه تابان فشار اتمسفری (APGD)، جت های پلاسمایی و غیره است [۷]. از میان دستگاه های ذکر شده دو دستگاه بیشترین کاربرد را در کاربردهای پزشکی دارند: ۱) پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک سطحی با گاز کاری هوا [۸ و ۹]، جت های پلاسمای فشار اتمسفری (با گاز کاری آرگون و یا هلیوم) [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 می دهد. 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 می شود چشمه پلاسمای برای کاربردهای پزشکی مناسب باشد [۱۴ و ۱۵]. وجود اجزای فعال مختلف در پلاسمای باعث میکروب زدایی خیلی خوب می شود. بنابراین از پلاسمای برای کاربرد بهبود زخم استفاده می شود.

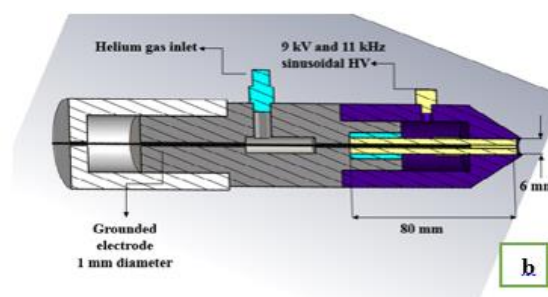
مطالعات بسیاری بر روی تأثیر پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر بر روی بهبود زخم انجام شده است. الیزابت گارسیا و همکاران [۱۶] روی افزایش سرعت بهبود زخم روی پوست موش تحقیقاتی انجام داده اند. آنها از درمان ترکیبی قلم پلاسمایی هلیوم و آرگون استفاده کرده اند و به این نتیجه رسیدند که علت تسریع شدن در بهبود زخم با کمک پلاسمای هلیوم 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 میکروب زدایی سطح زخم استفاده کرده اند. در این تحقیق پلاسمای DBD برای درمان استفاده شده است. آنها گزارش داده اند که این تکنیک زمان بهبود زخم را کاهش می دهد و مانع از آلوده شدن زخم می شود. شهرام صالحی و همکاران [۱۸] تأثیر پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر بر روی بهبود زخم را بررسی کرده اند. در پشت موش هایی با نژاد ویستار زخم هایی سوختگی از نوع درجه یک ایجاد شد. موش ها به مدت ۳۰ بار در روز هر بار به مدت ۶۰ ثانیه و به مدت ۴ روز مورد پرتو دهی قرار گرفتند. اندازه گیری ها 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 موش های دیابتی را مورد بررسی قرار دادند. آنها زخم موش های 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 زخم ها در زخم های دیابتی کندتر از زخم های غیردیابتی است. همچنین نتایج نشان می دهد که درمان با پلاسمای، نرخ بهبود زخم را در زخم های غیردیابتی افزایش می دهد. در زخم های دیابتی مشاهده شد که بعد از درمان با پلاسمای در مقایسه با زخم هایی که تحت درمان قرار نگرفته اند، انقباض زخم اتفاق می افتد. جو مین و همکاران [۲۰] تأثیر دوگانه جت پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر را بر روی بهبود زخم پوستی موش بررسی کرده اند. آنها آزمایش خود را بر روی ۵۰ موش انجام دادند و موش ها 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 سلول های لایه درم پوست و رگ های خونی می دهد و اجازه می دهد که زخم زودتر از حالت عادی ترمیم شود و به عبارتی زمان بهبود زخم را کاهش می دهد. همچنین دریافتند که زمان درمان ۵۰ ثانیه اثر منفی بر روی بهبود زخم می گذارد.

در این تحقیق یک دستگاه پلاسمای جت فشار اتمسفری که با



(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 الکترود آلومینیومی در فاصله ۱۰ mm از سر تیوب قرار داده می‌شود که نقش الکترود ولتاژ بالا را دارد و یک الکترود سوزنی شکل با قطر ۱ mm به عنوان الکترود زمین در مرکز تیوب قرار می‌گیرد. یک منبع تغذیه امواج سینوسی با گستره دامنه خروجی ۰-۳۰ kVpp و گستره بسامدی ۱۰-۱۲ 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 الکترودهای 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، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰) 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.

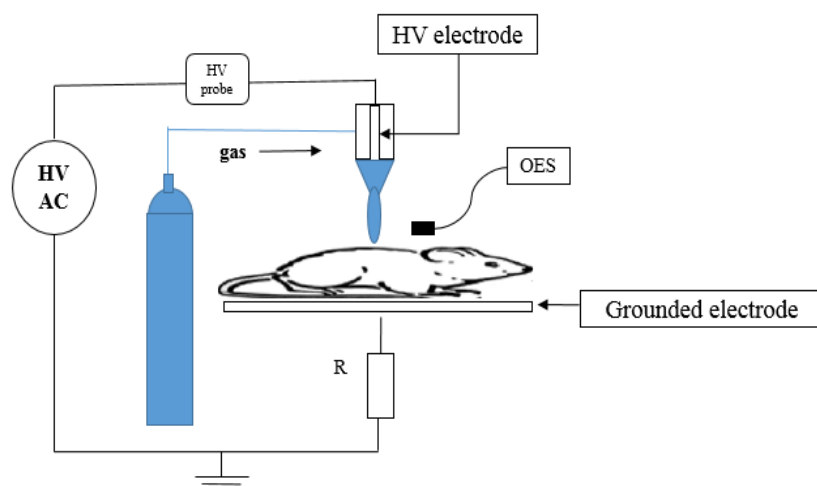
۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. 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

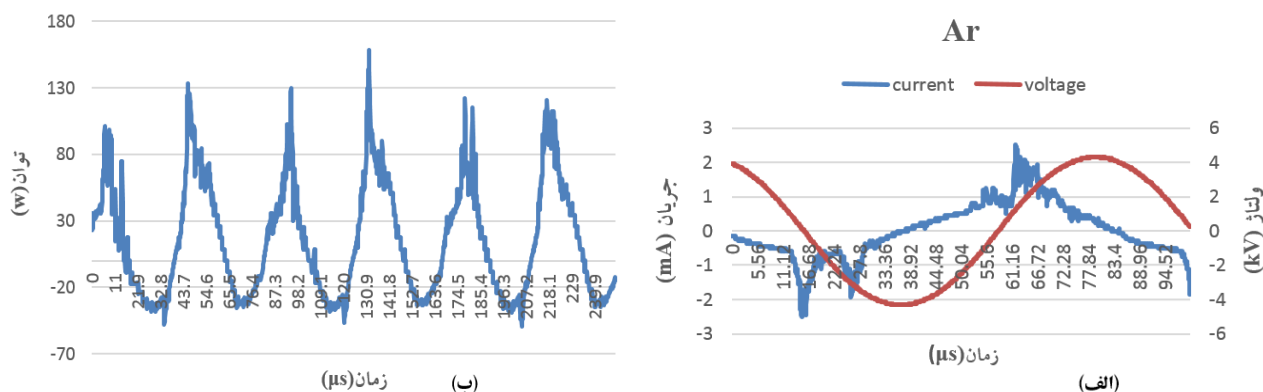
در این آزمایش‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده برای مساحت زخم از نظر آماری با استفاده از روش تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) و از طریق آزمون توکی انجام شد. داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار استاندارد گزارش شدند. مقدار $p < 0.05$ از نظر آماری اهمیت دارد.

پلاسمای جت آرگون استفاده شد.

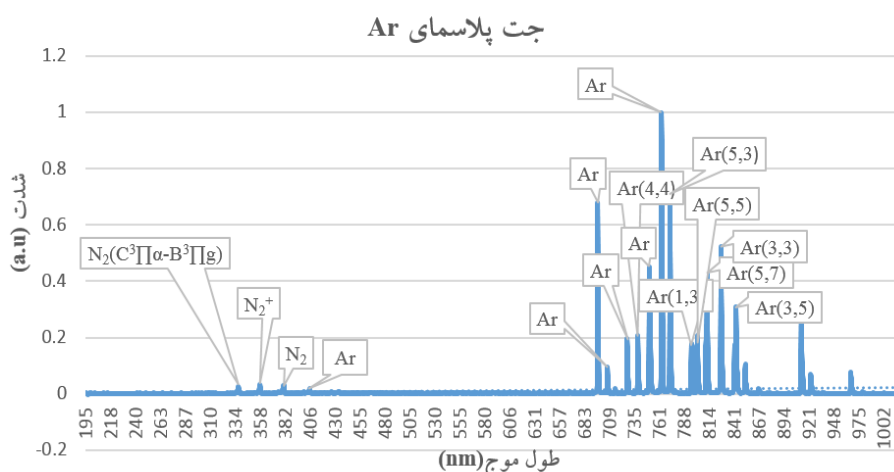
۲.۲. نمونه‌های حیوانی و مدل زخم

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 نمونه‌ای 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.

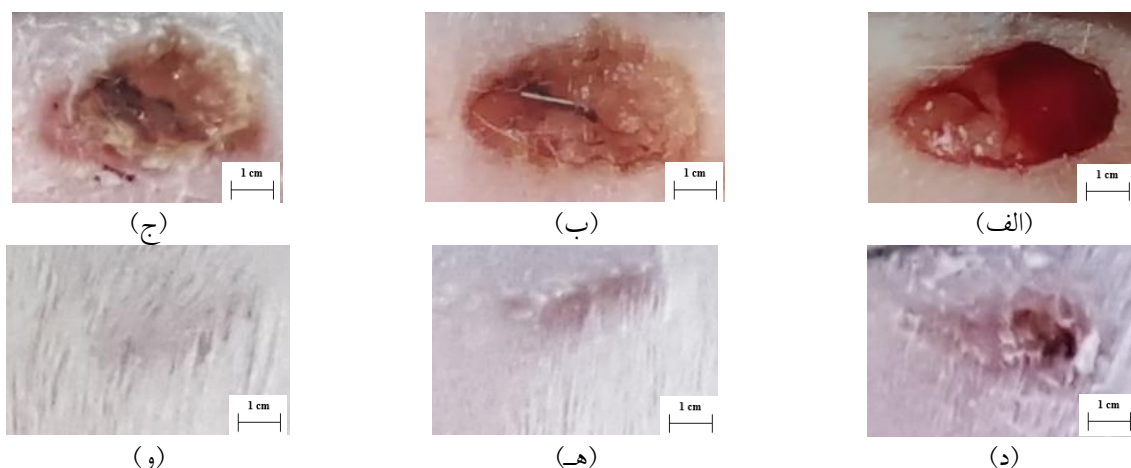
همان گونه که در شکل ۳. الف مشاهده می‌شود مقدار جریان عبوری از بدن حیوان کمتر از ۵ mA (که عامل آسیب به بدن موجود زنده است [۲۱]) است. بنابراین این مقدار جریان به بدن موجود زنده آسیب نمی‌رساند. متوسط توان تخلیه برای یک دوره تناوب ۱۴/۸۶ وات به دست آمد.

۳.۲. نتایج طیف نگاری گسیل نوری

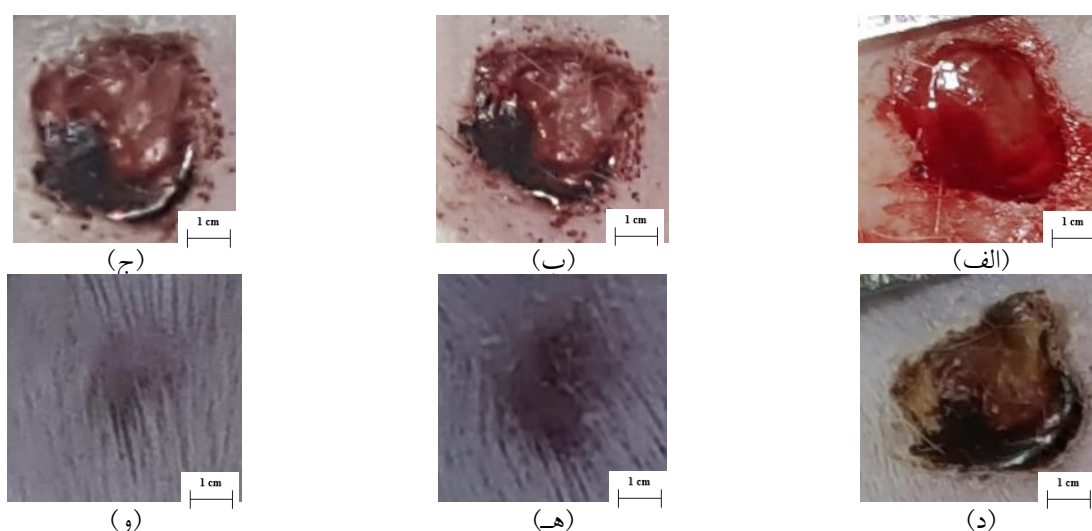
طیف گسیل نوری پلاسمای جت آرگون در گستره ۱۰۰۰-۲۰۰ nm مطابق شکل ۵ به دست آمد. اجزای واکنشی نیتروژن (RNS) که در بهبود زخم تأثیر دارد در طیف مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در طیف گسیل نوری N_2^+ در طول موج ۳۵۷ nm و N_2 در طول موج‌های ۳۳۷ nm و ۳۸۰ nm مشاهده می‌شود. همچنین باندهای اجزای فعال Ar مطابق شکل قابل 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.

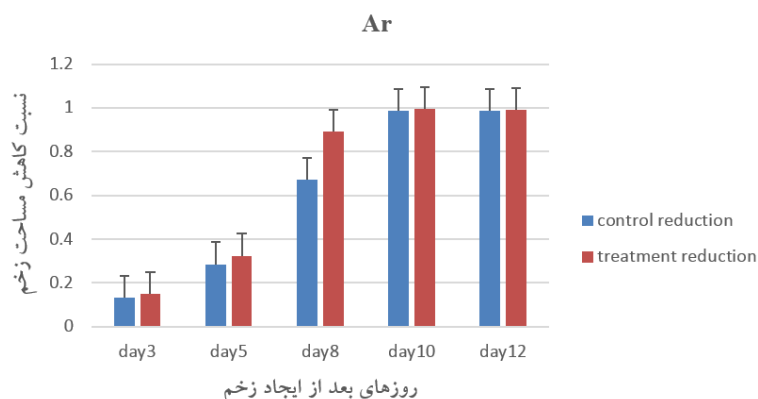


شکل ۷. (رنگی در نسخه الکترونیکی) مراحل بهبود زخم کنترل در درمان با جت پلاسمای آرگون: (الف) در روز اول درمان، (ب) روز سوم، (ج) روز پنجم، (د) روز هشتم، (ه) روز دهم، و (و) روز دوازدهم بعد از اولین درمان.

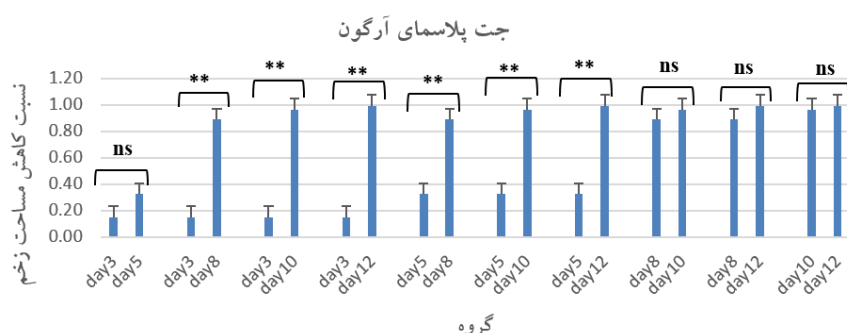
۷. ب). پوسته زخم در روز پنجم بعد از اولین درمان شروع به جدا شدن و افتادن می‌کند (شکل ۷. ج) و در روز هشتم به صورت کامل جدا شده و می‌افتد (شکل ۶. د). زخم تحت درمان در روز دهم به صورت کامل بسته شده و بهبود می‌یابد (شکل ۶. ه). پوسته زخم بر روی زخم کنترل همچنان تا روز هشتم بر روی زخم مشاهده می‌شود (شکل ۷. 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 سروز^۱ همچنان بر روی زخم کنترل مشاهده می‌شود (شکل

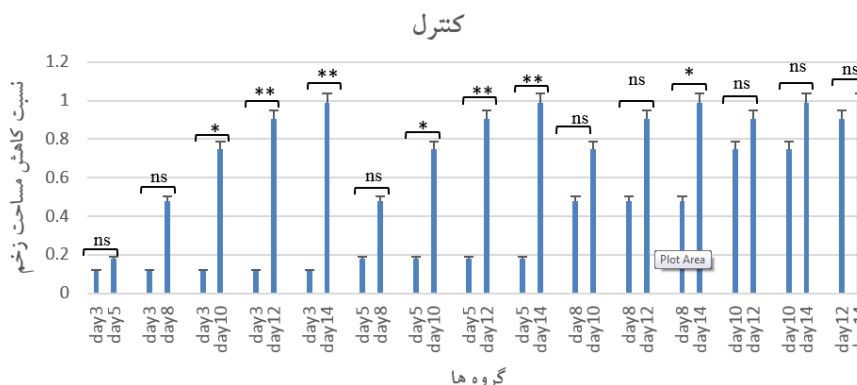
۱. Serous exudate



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 می شود، بین روزهای سوم و هشتم، سوم و دهم، سوم و دوازدهم، پنجم و هشتم، پنجم و دهم، پنجم و دوازدهم، تفاوت معنادار مشاهده می شود ($p < 0.001$). این اختلاف معنادار به این معنی است که کاهش زخم در این گروه ها 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 می شود 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 ملاحظه ای نداشته است؛ در حالی که بین روزهای درمانی پنجم و دهم، هشتم و چهاردهم، سوم و دهم اختلاف معنادار مشاهده می شود ($p < 0.05$). بین روزهای سوم و دوازدهم، سوم و چهاردهم، پنجم و دوازدهم و پنجم و چهاردهم هم تغییر قابل توجهی در ابعاد زخم مشاهده می شود ($p < 0.001$).

همان گونه که از مقایسه شکل های ۸ و ۹ مشاهده می شود، زخم های درمانی در روزهای سوم و پنجم اختلاف قابل ملاحظه ای دارند، در حالی که در زخم های کنترل بین این دو روز اختلاف قابل توجهی مشاهده نمی شود. همچنین در زخم های درمانی بین روزهای سوم و هشتم اختلاف قابل توجهی مشاهده می شود، در صورتی که در زخم کنترل اختلاف قابل توجهی وجود ندارد. همین مسئله نشان می دهد که پلاسمای جت آرگون به خصوص در روزهای اول بعد از ایجاد زخم، تأثیر قابل ملاحظه ای در بهبود زخم دارد.

۴. نتیجه گیری

هدف از انجام این تحقیق ساخت دستگاه پلاسمای غیرحرارتی

مراجع

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.

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 می کند، 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. آزمایش های 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 ریخت شناسی سطح زخم در مدت ۱۲ روز و همچنین نتایج اندازه گیری 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، می شود. 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] زمان های 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 می گیرد و حیوان احساس بهتری خواهد داشت و هم مصرف برق مورد نیاز برای ایجاد تخلیه کاهش پیدا می کند. مشاهده شد که با این زمان درمان، زخم ها 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 می دهد.

- 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://plasus.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,