لیزرپزشکی؛ ۱۳۹۰، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲، صفحات: ۱۹-۱۱

مقـالـــــه پژوهشی

ایجاد نانوساختار روی سطح پلی‌استایرن با استفاده از لیــزر اکســایمر ArF برای افزایش زیست‌سازگاری

شاداب باقری خولنجانی[۱]
حمید میرزاده[۲]
مرتضی دلیری[۳]
علیرضا زارع شحنه[۴]

[۱] دکتـرای مهندسـی پزشـکی، دانشـکدهٔ مهندسـی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
[۲] استاد مهندسی پلیمر، دانشکدهٔ مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
[۳] اسـتادیارایمنی‌شناسـی جنـین، پژوهشـگاه ملـی ژنتیک
[۴] کارشـناس ارشـد الکترونیـک، پژوهشـکده لیـزر، سازمان انرژی اتمی

نویسندهٔ پاسخگو: حمید میرزاده
آدرس: خیابان حافظ، دانشـگاه صـنعتی امیرکبیـر، دانشکدهٔ مهندسی پلیمر
تلفن: ۶۴۵۴۲۴۲۰
نشانی الکترونیک: mirzadeh@aut.ac.ir

خلاصه

مقدمه: پرتودهی توسط لیـزر یکـی از روش‌هـای مناسـب جهـت اصـلاح سـطح پلیمـر و ایجـاد نانوساختار برروی آن‌ها است. این نانوساختارهای ایجاد شده توسط پرتودهی لیزر تـأثیر بسـزایی در افزایش زیست‌سازگاری پلیمرها دارند.

روش‌بررسی: در این تحقیق سطح فیلم‌های پلی‌استایرن با استفاده از لیزر اکسایمر ArF با طول موج ۱۹۳نانومتر و در تعداد پالس‌های متفاوت ۱، ۵ و ۱۰ اصلاح شد. تغییرات سطحی با استفاده از میکروسـکوپ نیـروی اتمـی(AFM)، میکروسـکوپ الکترونـی روبشـی (SEM)، بازتـاب کلـی تضعیف‌شدهٔ تبدیل فوریهٔ مادون قرمز (ATR-FTIR) و اندازه‌گیری‌های زاویهٔ تماس بررسی شد. جهت بررسی تغییرات زیست سازگاری سطح پلی‌استایرن بعد از تابش دهی توسـط لیـزر از کشـت سلول‌های L929 استفاده شد.

یافته‌ها: تصاویر SEM و AFM حاکی از ایجاد نانو سـاختارهایی بـر روی سـطح پلـی‌اسـتایرن بعداز تابش‌دهی بود. این تصاویر نشان داد با افزایش تعداد پالس‌ها انـدازهٔ سـاختارهای ایجادشـده بیشتر شد. بررسی تغییرات آبدوستی و انرژی آزاد سطحی نمونه‌ها نشان داد، پس از اصلاح نمونه‌ها توسط لیزر با ۱ پالس ابتدا قطبیت سطح افزایش و پس از آن با افزایش تعداد پـالس‌هـا بـه ۵ و ۱۰ کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: بررسی تغییرات شیمیایی توسط طیف ATR-FTIR نشان‌دهندهٔ تشـکیل شـدن گروه‌های قطبی مثل پراکسید و هیدروکسیل برروی سطح پلی‌استایرن بعد از انجام پرتودهی با لیزر است. نتایج حاصل از کشت سلولی نشانگر افزایش زیست سازگاری پلی‌استایرن اصلاح شده با لیـزر بود.

واژه‌های کلیدی: پلی استایرن، لیزر اکسایمر، نانوساختار، اصلاح سطح، زیست سازگاری

مقدمه

یکی از روش‌های کارآمد اصلاح سطح بیومتریـال‌هـا پرتـودهی توسط لیزر است. تغییرات حاصل از پرتوی لیزر محدود به سـطح بیومتریال‌ها می‌باشد و خسارات احتمالی به تـودهٔ بیومتریـال‌هـا نسبت به پرتوهای دیگر مثل گاما و الکترونی به حداقل می‌رسـد و خواص مکانیکی آن‌ها حفظ می‌شود[۱] .

از مزایـای عملیـات لیـزر مـی‌تـوان بـه سـادگی آن، سـهولت کنترل و ایمنی فرآیند اشاره نمود. علاوه بر این، استفاده از منبع نور تکفام در نورشیمی[۱] باعث می‌شود که تنها انتقال‌های نوری ا نتخابی در نمونـه انجـام شـود. هنگـام اسـتفاده از لامـپ‌هـای درخششی نوار پهن تعداد زیادی از ترازهای انرژی بسته به انرژی منبع نور جمعیت‌دار می‌شوند. این حالت‌های مختلف مـی‌تواننـد

۱: photochemistry

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

به انواع حالت‌های شیمیایی گوناگون منجر شوند. ولی از لیزر می‌توان برای برانگیختن انتخابی یک جزء یک مخلوط شیمیایی استفاده کرد. معمولاً مزیت شدت زیاد و نور تکفام لیزرها می‌تواند با کارآیی بیشتر از منابع متداول، واکنش نورشیمیایی انتخابی را انجام دهد [۵-۲]. باتوجه به تحقیقات انجام شده در زمینهٔ بهینه‌سازی فیلم‌های پلیمری با لیزر مشخص شده است که کندگی حاصل از پرتودهی لیزری با تغییرات شیمیایی و فیزیکی سطح و ایجاد گروه‌های عاملی جدید همراه است و ساختار منظمی که در نواحی تابش دیده ایجاد می‌گردد، باعث بهبود زیست‌سازگاری پلیمر می‌شود[۶و۷].

میرزاده و همکارانش در سال ۱۹۹۵ برای اولین بار از لیزر به‌عنوان روشی برای اصلاح زیست‌سازگاری استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از لیزر CO_2 سطح EPR و پس از آن با استفاده از لیزر KrF و لیزر CO_2 سطح پلی‌اتیلن ترفتالات و نیز پلی‌دی‌متیل سیلوکسان (PDMS) را اصلاح نمودند و زیست‌سازگاری و خون‌سازگاری آن‌ها را افزایش دادند[۵-۲].

پلی‌استایرن اصلاح سطح‌شده به‌صورت گسترده‌ای در کاربردهای پزشکی به‌عنوان ظروف کشت سلول به‌دلیل غیر سمی بودن، شفافیت بالا در طیف مرئی، قیمت تولید پایین و شکل‌پذیری آسان استفاده شده است[۱]. تاکنون از لیزرهای مختلفی جهت اصلاح سطح پلی‌استایرن استفاده شده‌است[۸و۹].

هدف از این تحقیق اصلاح خواص سطحی پلی‌استایرن، ایجاد نانوساختارهای سطحی با استفاده از لیزر ArF و بررسی اثر آن برروی زیست سازگاری پلی‌استایرن می‌باشد.

روش بررسی

اصلاح سطح توسط لیزر برای اصلاح سطح فیلم‌های پلی‌استایرن با لیزر از لیزر اکسایمر با طول موج ۱۹۳ نانومتر استفاده شد. لیزر یادشده ساخت شرکت LAMBDA PHYSIK مدل LPX® 210 است. پهنای پالس این لیزر ns ۲۰ و سرعت تکرار پالس آن ۱۰۰-۱ هرتز قابل‌تنظیم می‌باشد و متوسط انرژی آن mJ ۴۰۰ است. فیلم های پلی استایرن با استفاده از سیستم ذکر شده با انرژی (mJ ۴۵۰-۴۳۰) و فرکانس ثابت۱ هرتز و تعداد پالس‌های متغیر(۱، ۵ و۱۰پالس) اصلاح گردید.

میکروسکوپ الکترونی پویشی

برای بررسی تغییرات مورفولوژی سطح فیلم‌های پلی‌استایرن از میکروسکوپ الکترونی پویشی CAMBRIGE مدل S360 استفاده گردید. سطح فیلم‌های پلی‌استایرن قبل از بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی با طلا پوشش‌دهی شد.

میکروسکوپ نیروی اتمی

برای بررسی تغییرات مورفولوژی سطح در مقیاس نانومتر از دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی(AFM) در مد غیر تماسی (مدل auto probe ساخت شرکت Park Scientific Instrument کشور آمریکا) استفاده شد.

اندازه‌گیری زاویه تماس و کشش سطحی

آب دوستی فیلم‌های پلی‌استایرن پس از پرتودهی با استفاده از اندازه‌گیری زاویهٔ تماس استاتیک قطرهٔ آب با سطح پلیمر با روش قطرهٔ چسبیده به‌کمک دستگاه کراس(KRUSS G10) انجام شد. زاویه‌های گزارش شده حاصل میانگین زاویهٔ تماس قطرهٔ آب با ۵ نقطهٔ مختلف از سطح پلیمر است. برای بررسی تغییرات کشش سطحی از حلال دی‌یدومتان نیز استفاده شد. زاویهٔ تماس با دی‌یدومتان اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از روابط Owens و Wendt انرژی سطحی و بخش‌های قطبی و غیر قطبی آن اندازه‌گیری گردید.

طیف سنجی مادون قرمز

برای بررسی تغییرات شیمی سطح و گروه‌های عاملی ایجاد شده برروی سطح دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (Bruker ساخت آلمان) به‌صورت بازتابندگی تضعیف شدهٔ افقی (ATR-FTIR) H-Attenuated Total Reflectance) با منشور ZnS مورد استفاده قرارگرفت.

بررسی زیست سازگاری

برای بررسی چسبندگی سلولی و بررسی میزان زیست‌سازگاری نمونه‌های پلی‌استایرن از کشت سلول استفاده شد. در این تحقیق از سلول‌های فیبروبلاست L929 که از بافت مخاطی موش تهیه می‌شود، استفاده شد. سلول‌ها در محیط کشت (PRMI-1640) حاوی پنی‌سیلین با غلظت IU/ml ۱۰۰و استرپتومانسین با غلظت µg/ml ۱۰۰ قرار گرفتند. برای

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

نگهداری ردهٔ سلولی از یک محیط کشت معمولی (subculture) استفاده شد. سلول‌هایی که در محیط کشت قرار داده شدند به مدت یک هفته در محیط مرطوب دارای CO_2 با غلظت ۵ درصد و دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد رشد داده شدند. سلول‌ها پس از رشد تک‌لایه[۲] توسط تریپسین برداشت شدند و سوسپانسیونی از سلول با غلظت ۴×۱۰^{۵} سلول در میلی‌لیتر تهیه گردید .

فیلم‌های پلی‌استایرن پس از شستشو در شرایط استریل در پتری دیش قرار داده شدند و ۵ میلی‌لیتر از سلول‌های سوسپانسیون‌شده روی آن‌ها ریخته شد و به مدت ۷ روز در انکوباتور نگهداری شدند. برای مشاهدهٔ سلول‌ها، نمونه ها پس از شستشو با محلول PBS در اتانول ۹۶ درصد به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند تا سلول‌ها تثبیت شوند و سپس با محلول آبی اتانول با غلظت‌های مختلف (۵۰، ۶۰ ، ۷۰ و ۸۰ درصد)

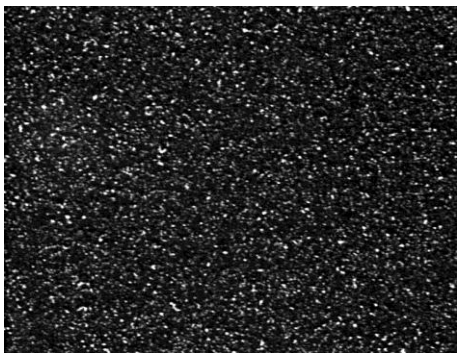
به‌مدت ۵ دقیقه هیدراته شدند و با قراردادن آن‌ها در محلول رقیق شدهٔ گیمسا با PBS به‌نسبت (۱:۲۰) رنگ آمیزی شدند. پس از ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در محلول گیمسا، نمونه ها خارج شده و رنگ اضافی با آب مقطر شسته شد و با قراردادن آن‌ها در محلول آبی اتانول با درجات مختلف (۹۶، ۸۰ و ۷۰درصد) آبگیری و در دمای اتاق خشک شدند. در این آزمایش از پلی‌استایرن ظروف کشت ساخت شرکت Falcon® به‌عنوان کنترل منفی استفاده گردید.

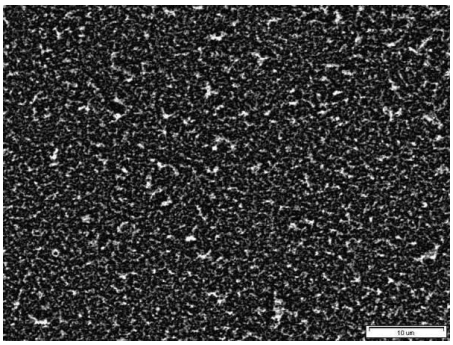
تعداد سلول‌هایی که به سطح چسبیده‌اند با به‌کار بردن میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ تعیین شد. این سلول‌ها در حداقل ۵ منطقه از فیلم که به‌طور اتفاقی در نواحی مرکزی و کناری فیلم انتخاب شدند، شمارش گردیدند. برای شمارش و تعیین مساحت سلول‌هایی که روی سطح چسبیده و پخش شده‌اند از نرم‌افزار (Image Pro Pluse) استفاده شد و مقدار متوسط اطلاعات داده شده به‌همراه انحراف استاندارد گزارش گردید.

یافته‌ها

در بررسی تغییرات مورفولوژی پلی استایرن اصلاح شده با لیزر هنگامی که سطح پلیمر با پرتوهای UV با شاریدگی بالاتر از حدآستانه پرتودهی می‌شوند، کندگی برروی سطح اتفاق می‌افتد و مورفولوژی سطح تغییر می‌کند. اندازهٔ ساختار هم به طبیعت پلیمر(خصوصیاتی مثل ضریب جذب در طول موج به‌کار گرفته شده و استحکام پیوندها) و هم به خصوصیات پرتو (طول موج، شاریدگی، تعداد پالس‌ها، فرکانس و ...) بستگی دارد[۳].

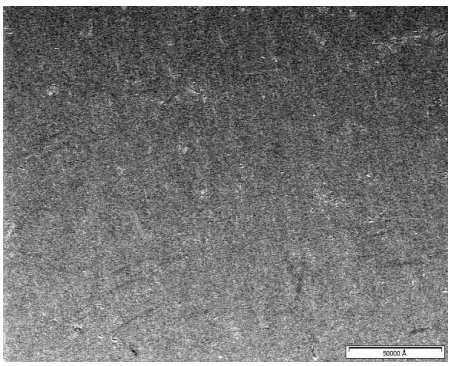
در تصویر۱، تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی(SEM) نمونه‌های اصلاح شده با لیزر مشاهده می‌شود. با مقایسهٔ تصاویر۱: الف و ۱: ب مشاهده می‌شود که مورفولوژی خاصی برروی سطح پلی‌استایرن ایجاد شده است. تصویر ۲، تصویر AFM پلی‌استایرن اصلاح نشده و پلی‌استایرن اصلاح شده با لیزر ۱ پالس است. همان‌طور که در تصویر دیده می‌شود، ساختار ایجادشده برروی سطح، درحد نانومتر است. پهنای یک تپه و دره بین ۱۵۰-۱۴۰ نانومتر و عمق دره‌ها در حدود ۱۵-۱۲ نانومتر است.

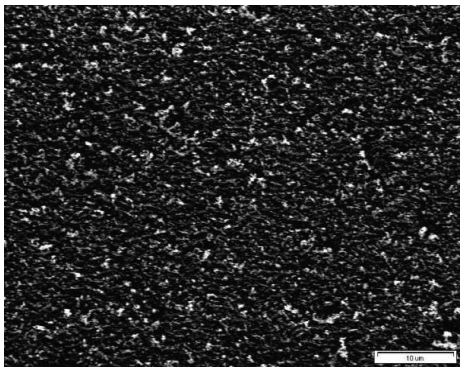




۲. mono layer

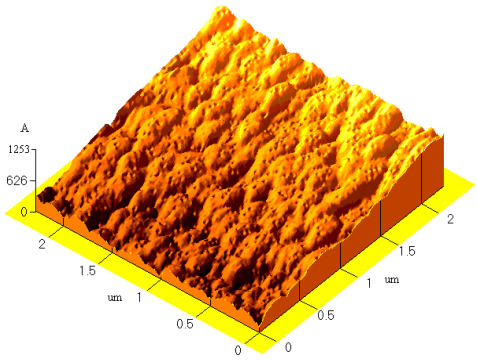
[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

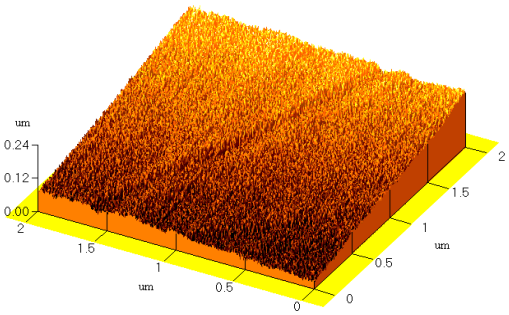




تصویر۱ : الف) تصویر SEM پلی‌استایرن اصلاح نشده، ب) اصلاح شده با لیزر ArF ۱۹۳ نانومتر با تعداد پالس ۱ ج) ۵ د) ۱۰.

اندازهٔ ساختار حاصل از لیزر ArF ۱۹۳ نانومتر تا اندازهٔ زیادی به طول موج مورد استفاده بستگی دارد. هر چقدر اندازهٔ طول موج پرتوی لیزر به‌کار رفته کمتر باشد، ساختار نیز ریزتر خواهدبود [۱۰].





تصویر۲:الف) تصویر AFM پلی‌استایرن اصلاح نشده ب) اصلاح شده با لیزر ArF (۱۹۳ نانومتر) با پالس ۱ ج)۵ د)۱۰.

عمق دره‌ها نیز با توجه به رابطهٔ زیر به‌میزان جذب و شاریدگی به‌کار رفته در پرتودهی بستگی دارد[۸ و ۱۰]:

$$l_F = \frac{1}{\alpha} \log \frac{F}{F_0} \qquad (۱)$$

که در آن l_f عمق کندگی، a ضریب جذب، F شاریدگی پرتوی لیزر وF_0 شاریدگی آستانهٔ تحمل است. همان‌طور که در این رابطهٔ مشخص است، هرچقدر میزان جذب بالاتر باشد، عمق‌کندگی نیز کمتر خواهد بود. جذب پلی‌استایرن در طول موج ۱۹۳ نانومتر مربوط به انتقال مجاز $\pi \rightarrow \pi^*$ حلقهٔ بنزنی است[۱۲]. در این طول موج جذب پلی‌استایرن بالا می‌باشد و درنتیجه عمق کندگی ایجاد شده بسیار اندک است.

محققان دیگری نیز با استفاده از لیزر توانسته‌اند ساختارهایی درحد نانومتر برروی سطح ایجاد کنند. Zhu و همکاران با استفاده از هارمونی سوم لیزر Nd:YAG با طول موج ۲۶۶ نانومتر را برای اصلاح و ایجاد نانوساختار برروی سطح پلی‌استایرن استفاده نموده‌اند. پهنای یک تپه و درهٔ ایجاد شده برروی سطح ۲۵۰-۲۴۰ نانومتر و عمق دره‌ها ۶۰-۵۰ نانومتر بوده است[۱۳]. واحدی و همکاران نیز با استفاده از لیزر

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

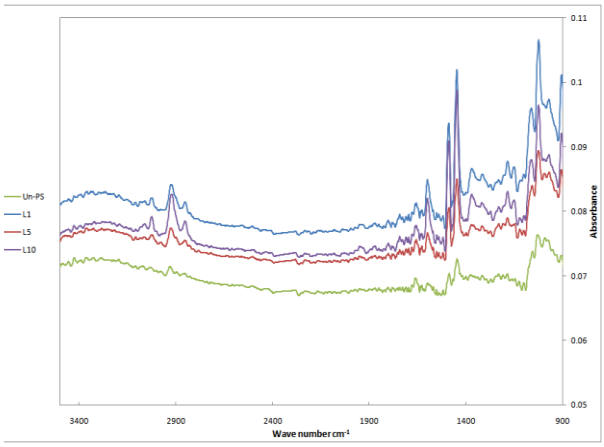
اکسایمر KrF با طول موج ۲۴۸ نانومتر توانسته‌اند نانوساختار سطحی برروی پلی اتیلن ترفتالات ایجاد کنند[۱۰].

تأثیر افزایش تعداد پالس برروی مورفولوژی سطح را می‌توان در تصویر ۱ مشاهده نمود. با افزایش تعداد پالس اندازهٔ ساختارهای ایجادشده برروی سطح بیشتر شده است. فاصلهٔ متوسط بین تپه‌ها <D> تابعی از لگاریتم تعداد ضربان است[۱۴].

$$< D >= k_1 \log N_p + K_2 \quad (۲)$$

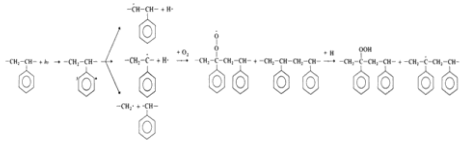
N_p تعداد ضربان لیزر و K_1 و K_2 اعداد ثابت هستند. K_1 به انرژی لیزر بستگی زیادی ندارد ولی نسبت به خصوصیات پلیمر مانند بلورینگی، میدان کشش داخلی، نسبت کشش و میزان جذب حساس است و K_2 عدد ثابتی است که ابعاد مورفولوژیکی فیلم را بعد از اولین ضربهٔ لیزر نشان می‌دهد [۱۴]. همانطور که در این رابطه نیز دیده می‌شود فاصلهٔ متوسط بین تپه‌ها با افزایش تعداد پالس به‌صورت لگاریتمی زیاد می‌شود.

طیف ATR-IR پلی‌استایرن اصلاح شده با لیزر با تعداد پالس‌های مختلف درتصویر۳ مشاهده می‌شود. در طیف ATR-IR پیک‌هایی در محدوده $1188\ cm^{-1}$ و ۱۳۶۵ که مربوط به گروه عاملی پراکسید است، مشاهده می‌شود. علاوه بر این پیک‌هایی نیز در حدود $1600\ cm^{-1}$ و ۳۲۸۴ مشاهده می‌شود که مربوط به گروه عاملی هیدروکسیل است.



تصویر۳- طیف ATR-IR پلی‌استایرن اصلاح نشده(Un-PS)، اصلاح شده با لیزر۱ پالس (L1)، ۵پالس(L5) و۱۰پالس(L10)

در طول موج ۱۹۳ نانومتر جذب مربوط به حلقه بنزنی است[۱۲]. هنگامی که پرتوی لیزر به سطح پلی‌استایرن تابانیده می‌شود پرتو توسط حلقهٔ بنزن جذب می‌شود و حلقه به حالت تهییج‌شده می‌رسد[۱۲، ۱۵و۱۶]. انرژی تهییج می‌تواند با انتقال انرژی به باندهای CH یا C-C منتقل شود و رادیکال‌های ایجاد شده با اکسیژن هوا واکنش می‌دهد و رادیکال‌های پراکسیدی برروی سطح ایجاد می‌شود. رادیکال‌های پراکسی با جذب هیدروژن از زنجیره‌های دیگر، برروی سطح پلی‌استایرن، هیدروپراکسید تشکیل می‌دهند (تصویر۴).



تصویر ۴- مکانیزم تشکیل گروه های پراکساید بر روی سطح پلی استایرن در اثر پرتودهی با لیزر.

علاوه بر گروه‌های پراکسید و هیدروکسیل، تشکیل گروه‌های عاملی قطبی دیگر از جمله کربونیل، استر[۱۵و۱۶]، ترکیبات نیترون دار (-C=N- و -C-N≡) [۱۷و۱۸] نیز گزارش شده است. اما احتمالا" به‌دلیل غلظت پایین این گروه‌ها و گستردگی محدودهٔ آنالیز ATR-IR(۵-۱ µm) [۱۹]، این گروه‌ها در طیف ATR-IR شناسایی نشده‌اند.

برای بررسی تغییرات آبدوستی نمونه‌ها بعد از عملیات لیزر از اندازه‌گیری زاویهٔ تماس با قطرهٔ آب استفاده شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری زاویهٔ تماس برای نمونه‌های اصلاح شده با لیزر برحسب تعداد پالس در جدول ۱ نشان داده شده است. این نتایج نشان‌داد زاویهٔ تماس قطرهٔ آب با سطح پلی‌استایرن پس از عملیات لیزر با ۱ پالس کاهش و پس از آن با افزایش تعداد پالس دوباره افزایش می‌یابد.

در جدول ۱ تغییرات انرژی آزاد سطحی که با استفاده از روش Owens و Wendt به‌دست آمده است برای نمونه‌های اصلاح شده با لیزر مشاهده می‌شود. براساس داده‌های به‌دست آمده، قطبیت سطح نیز ابتدا با استفاده از ۱ پالس افزایش یافته‌است و بعد از آن با افزایش تعداد پالس کاهش یافته‌است. نکتهٔ جالب توجه این است که با استفاده از پرتودهی توسط لیزر در طول موج فرابنفش ۱۹۳ نانومتر می‌توان هم به سطوح

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

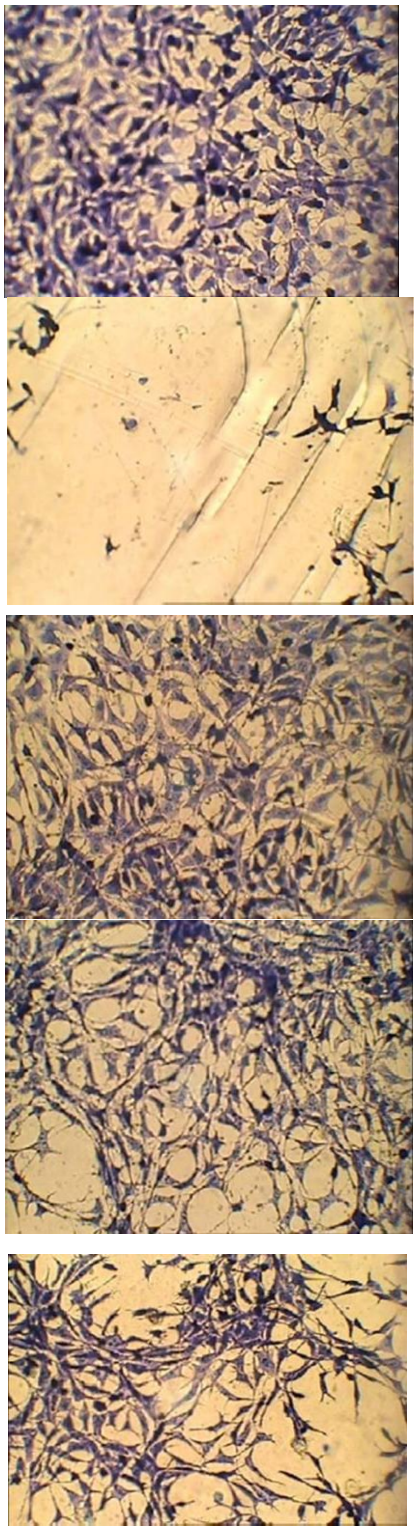
آبدوست و هم به سطوح آبگریز رسید که این خود نوعی مزیت پرتودهی با لیزر در مقایسه با منابع نوری دیگر است. نتایج مشابهی نیز توسط میرزاده و همکارانش برروی فیلم‌های PET در اثر پرتودهی با لیزر KrF با طول موج ۲۴۸ نانومتر گزارش شده است[۱۹].

کاهش زاویهٔ تماس قطرهٔ آب با سطح پلیمر در ۱ پالس می‌تواند به‌علت شکل‌گیری گروه‌های قطبی برروی سطح و تغییر ساختار شیمیایی آن باشد. با افزایش تعداد پالس به‌دلیل تجزیهٔ پراکسیدهای روی سطح، ایجاد تخلخل و حباب‌های هوا در اثر کندگی با لیزر، آبدوستی سطح کاهش می‌یابد[۲۰].

بررسی زیست سازگاری نمونه‌های اصلاح شده با لیزر

بررسی زیست‌سازگاری چسبندگی و رشد سلول‌های فیبروبلاست برروی فیلم‌های پلی‌استایرن اصلاح نشده و اصلاح شده با لیزر و نیز کنترل منفی (پلی‌استایرن کشت سلولی) با استفاده از کشت سلول‌های فیبروبلاست L-929 انجام گرفت. رفتار سلولی برروی یک مادهٔ زیست‌سازگار، فاکتور مهمی جهت تعیین میزان زیست‌سازگاری آن است. فرآیند چسبندگی و پهن شدن[۳] سلول‌ها بعد از تماس با مواد زیست سازگار شامل چسبیدن سلول[۴] رشد پاهای کاذب، به دور خود تنیدن تارهای سیتوپلاسمی و مسطح شدن جرم سلول می‌باشد که به‌صورت متوالی پیشرفت می‌کند[۲۱].

تصویر ۵، تصاویر میکروسکوپ نوری سلول‌های فیبروبلاست L-929 رنگ‌آمیزی شده برروی فیلم‌های پلی‌استایرن اصلاح شده توسط لیزر را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، سلول‌های اندکی برروی سطح PS اصلاح نشده رشد کرده‌اند و سلول‌ها حالت جمع‌شدگی دارند درحالی‌که در نمونه‌های اصلاح‌شده با لیزر، دانسیتهٔ سلول‌های چسبیده به سطح قابل مقایسه با کنترل منفی است. همچنین میزان پهن‌شدگی آن‌ها افزایش یافته است.



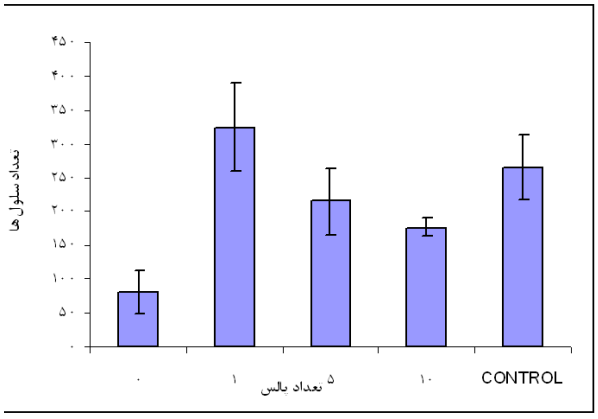
تصویر ۵: الف) تصاویر میکروسکوپ نوری سلول‌های

[۳] spreading
[۴] attachment

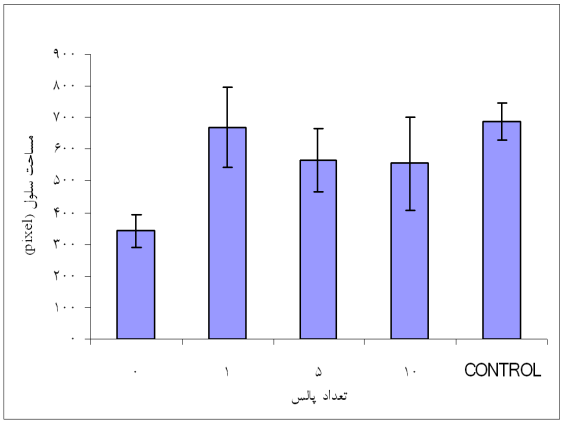
[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

فیبروبلاست L-929 رنگ آمیزی شده بر روی سطح پلی‌استایرن اصلاح نشده، ب) اصلاح شده با لیزر ۱ پالس، ج) ۵ پالس، د) ۱۰ پالس و ه) کنترل منفی(TCPS).

در تصاویر ۶ و ۷ اثر تعداد پالس لیزر برروی تعداد و مساحت سلول‌های چسبیده به سطح نشان داده شده‌است. با مقایسهٔ داده‌های جدول ۱ و تصاویر ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که میزان دانسیتهٔ سلول‌ها برروی سطح پلی‌استایرن با افزایش زاویهٔ تماس و قطبیت سطح افزایش و با کاهش آن کاهش می‌یابد.



تصویر۶- نمودار تعداد سلول‌های چسبیده به سطح پلی‌استایرن اصلاح شده با لیزر بر حسب تعداد پالس



تصویر ۷: نمودار مساحت سلول های چسبیده به سطح پلی‌استایرن اصلاح شده با لیزر بر حسب تعداد پالس

البته میزان سلول‌های چسبیده به سطح پلی‌استایرن اصلاح‌شده با لیزر ۵ و ۱۰ پالس با وجود آبدوستی کمتر از نمونهٔ اصلاح نشده بیشتر است. این مسئله می‌تواند مربوط به تغییرات مورفولوژی سطح دراثر پرتوی لیزر باشد. با افزایش زبری سطح، مکان‌های مناسب برای لنگراندازی سلول‌ها برروی سطح بیشتر می‌شود و درنتیجه هم دانسیتهٔ سلول‌های چسبیده به سطح و هم مساحت آن‌ها برروی سطوح زبر بیشتر از سطوح صاف خواهد شد[۲۱].

نتیجه گیری

اصلاح سطح پلی‌استایرن توسط لیزر باعث ایجاد مورفولوژی خاصی در ابعاد نانومتر برروی سطح آن شده است. این مسئله می‌تواند به‌دلیل طول موج پائین لیزر ArF ۱۹۳نانومتر باشد. با افزایش تعداد پالس لیزر، اندازهٔ ساختارهای ایجادشده برروی سطح پلی‌استایرن افزایش یافته‌است. بررسی طیف ATR-IR نمونه‌های اصلاح‌شده با لیزر نشان‌دهندهٔ تشکیل گروه‌های پراکسید و هیدروکسیل برروی سطح پلی‌استایرن بوده است. بررسی تغییرات زاویهٔ تماس و انرژی آزاد سطحی نمونه‌های اصلاح شده با لیزر نشان داد که با افزایش تعداد پالس، آبدوستی سطح ابتدا افزایش و سپس با افزایش آن به ۵ و ۱۰ پالس کاهش یافته‌است.

داده‌های حاصل از کشت سلولی حاکی از افزایش زیست‌سازگاری سطح نمونه‌های اصلاح شده با لیزر است. بیشترین تعداد و مساحت سلول‌های چسبیده به سطح متعلق به نمونهٔ اصلاح شده با ۱ پالس بوده است. میزان رشد سلول‌ها برروی این نمونهٔ از کنترل منفی نیز بهتر بوده است. در نمونهٔ اصلاح شده با ۵ و ۱۰ پالس با وجود آبدوستی کمتر از نمونهٔ اصلاح نشده، تعداد و مساحت سلول‌های چسبیده به سطح بیشتر بوده است که این می‌تواند به‌دلیل غلبهٔ تأثیر پارامتر مورفولوژی سطح بر پارامتر آبدوستی سطح باشد به‌عبارت دیگر به‌علت تغییرات مورفولوژی ایجاد شده برروی سطح در اثر پرتوی لیزر، توانایی چسبندگی سلول‌ها به این سطوح بالا رفته است و زیست‌سازگاری آن‌ها بهتر از نمونهٔ اصلاح نشده است.

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

References

1. Mirzadeh H, Bagheri Sh. omparison the Effect of Excimer Laser and RF Plasma on Polystyrene Surface, adiation Physics and Chemistry 2007; 76: 1435-40.

2. Mirzadeh H,Khorasani M, Sammes P, PDMS Surface Modification by Laser Irradiation: A Novel Technique for the Preparation of Blood Compatible Polymers, Iranian Journal of Polymer Science and Technology 1995; 8: 77-86.

3.Mirzadeh H, Dadsetan M. Influence of Laser Modifying of Polyethylene Terephthalate On Fibroblast Cell Adhesion, Radiation Physic And Chemistry 2003; 67:381-5.

4. Dadsetan M, Mirzadeh H, Sharifi-Sanjani N. IR Laser Surface Modification of Polyethylene Therephthalate as a Biomaterial, Iranian Journal of Polymer Science and Technology 2000; 9(4): 203-9.

5. Khorasani MT, Mirzadeh H. Laser Surface Modification of Silicon Rubber to Reduce Platelet Adhesion in vitro, J. Biomater. Sci. Polymer Edn 2004; 15(1): 59-72.

6. Heitz J, Voelcker N, Chaloupka A, Yakunin S, Hook AL, Anglin E. Photonic nanostructures for potential applications in cell biology, Transparent Optical Networks (ICTON), 12th International Conference on , June 27 2010-July 1 2010; doi: 10.1109/ICTON.2010.5548992.

7. Licht M, Straub M, König K, Afshar M, Feili D, Seidel H. Three-dimensional polymer nanostructures for applications in cell biology generated by high-repetition rate sub-15 fs near-infrared laser pulses", Proc. SPIE 7908, 79080M (2011); doi:10.1117/12.873581 .

8. Lu HW, Lu QH, Chen WT. Cell Culturing on Nanogrooved Polystyrene Petri dish Induced by Ultra Violet Laser Irradiation, Materials Letters 2003: 58, 29-32.

9. Mirzadeh H, VahediMoghadam E, Mivehchi H, Laser-modified nanostructures of PET films and cell behavior, Journal of Biomedical Materials Research Part A 2011; 98A(1) 63–71.

10. Rebollar E, Frischauf I, Olbrich M, Peterbauer T, Hering S, PreinerJ, Hinterdorfer P, Romanin C, Johannes H. Proliferation of aligned mammalian cells on laser-nanostructured polystyrene, Biomaterials 2008; 29; (12): 1796-806.

11. Hong MH, Huang LM, Hukyanchuk MS. Laser Assisted Surface Nanopaterning, Sensor And Actuators A 2003; 108: 69-74.

12. Jan FR, Polymer Photodegradation; Mechanisms and Experimental Methods, Chapman & Hall, 1995.

13. Zhu Bangshang, Zhang Qiqiao, Lu Qinghuan. Nanotopographical Guidance of C6 Glioma Cell Alignment and Oriented Growth, Biomaterials 2004; 25: 4215-23.

14.Dadsetan M. study the effect of CO2 and Excimer laser on biocompatibility of Poly ethylene terphetalate, Tehran University, 1999.

15. Lopez G, Hartmut G, Schimmel T, Vacuum Ultraviolet Photo chemically Initiated Modification of Polystyrene Surfaces: Chemical Change, Photochemistry and Photobiology 2005; 81: 777-82.

16. Guruvenket S, Komath M, Lakshmi V. Wettebility Enhancement of Polystyrene with Electron Cyclotron Resonance Plasma with Argon, J. Applied Polymer Science 2003; 98: 1618-23.

17. Guruvenket S, Rao GM, Komath Monof K, Plasma Surface Modification of Polystyrene and Polyethylene, Applied Surface Science 2004; 236: 278-84.

18.Bangshang Z, Qinhua L, Jie Y. Effect of Laser Modified Polystyrene Substrate on CHO Cell Growth and Alignment, J. Biomed. Mater. Res. Part B: Appl. Biomater 2004; 70b: 43-8.

19. Grainger WD, Kevin GE. Biomaterial Surface Analysis, Handbook of Biomaterials Evaluations, Taylor & Francis, 1999.

20. Dadsetan M, Mirzadeh H, Sharifi Sanjani N, Cell Behavior on Laser Surface Modified Poly Ethylene Terephtalate in vitro, 2001.

21. Khorasani MT, Mirzadeh H, Bhk Cell Behavior on Laser Treated Poly Dimethyl Siloxane Surface, Colloids and Surfaces B: Bointerfaces 2004; 35: 67-71.

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-09]