

کنترل خواص ترشوندگی سطح فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با استفاده از لیزر فیبری Yb برای کاربردهای پزشکی

الهه خلیلی^۱، محسن صراف بیدآباد^۲

^۱. دانشگاه اصفهان (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی)

^۲. دانشگاه اصفهان (استادیار گروه مهندسی پزشکی-بیومتریال)

چکیده

فولاد زنگ نزن، یکی از پرکاربردترین فلزات مورد استفاده در حوزه تجهیزات پزشکی و بیمارستانی است. روش حکاکی لیزری فیبری نیز روشی ساده و مناسب برای کنترل خواص ترشوندگی سطح فولاد زنگ نزن، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی و یا استفاده از پوشش‌های دیگر می‌باشد. در این تحقیق، با استفاده از روش حکاکی لیزری فیبری الگویی به صورت میکروشیارهایی موازی روی سطح فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ایجاد شده است. لیزر به کار گرفته شده Yb-1064 nm از نوع پالسی با پهنای پالس ۵۰ نانوثانیه می‌باشد. همچنین با تغییر فواصل میکروشیارها، تاثیر ابعاد میکرونی و میکروساختار بر میزان تغییر ترشوندگی، با استفاده از اندازه گیری زاویه تماس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با ایجاد الگوی میکروشیاری بر سطح فولاد، رفتار ترشوندگی سطح تغییر می‌کند. علاوه بر این، با کاهش فاصله میکرونی میان شیارها، زاویه تماس افزایش می‌یابد. با تغییر نوع میکروساختار، تغییر ابعاد میکرونی و همچنین تغییر پارامترهای لیزر و نوع آن، می‌توان به طیف وسیعی از زوایای تماس برای استفاده در کاربردهای مختلف پزشکی و صنعتی، دست یافت.

واژه‌های کلیدی: فولاد زنگ نزن؛ ترشوندگی؛ لیزر؛ میکروشیار.

مقدمه

اهمیت فولاد در تمدن بشری و نقش ویژه آن در صنعت، پزشکی و زمینه‌های گوناگون دیگر زندگی بر کسی پوشیده نیست. امروزه بخش بزرگی از تجهیزات بیمارستانی، وسایل، ابزار و دستگاه‌های پزشکی، دندان‌پزشکی و آزمایشگاه‌های تشخیص طبی با استفاده از انواع فولادهای زنگ‌نزن ساخته می‌شود [۱]. در واقع، از میان انواع فولادهای موجود، فولاد زنگ‌نزن برای استفاده در کاربردهای پزشکی مناسب تشخیص داده شده است. فولاد زنگ‌نزن پر کاربردترین فلز در وسایل پزشکی به دلیل دارا بودن همزمان خواص مکانیکی مناسب، زیست‌سازگاری قابل قبول و مقرون به صرفه بودن در مقایسه با دیگر مواد می‌باشد [۲]. سطح این فلز، اولین مکان ارتباط و واکنش آن با محیط اطراف است. به طور کلی می‌توان گفت پاسخ‌های بیولوژیک به زیست‌مواد عمدتاً توسط ساختار و خواص شیمیایی سطح آن‌ها کنترل می‌شود. به عبارتی دیگر، سطح بیومواد نقش مهمی در نحوه عملکرد آن دارد به طوری که بر جذب پروتئین‌ها و در نتیجه آن نوع واکنش سلول‌ها با سطح اثر می‌گذارد. مهم‌ترین عامل در این مرحله میزان تر شدن سطح زیست ماده توسط مایعات فیزیولوژیک بدن است. در این قسمت نقش مهم ویژگی ترشوندگی^۱ و زاویه تماس^۲ نمایان می‌شود [۳].

ترشوندگی، به عنوان یکی از مهم‌ترین خواص سطحی اثرگذار بر پاسخ‌های بیولوژیک دریافتی در نظر گرفته می‌شود به همین علت تحقیقات گسترده‌ای پیرامون روش‌های مختلف اصلاح ساختار سطح، تغییر و قابل کنترل نمودن ترشوندگی انجام شده است [۴]. قابل کنترل بودن ترشوندگی برای فولاد زنگ‌نزن به عنوان فلزی رایج در زمینه پزشکی و صنعت می‌تواند بسیار مفید و موثر واقع شود [۵]. در حال حاضر فرآیندهای موجود برای اصلاح خواص ترشوندگی سطح، بسیار وقت‌گیر، پیچیده و گران بوده و کنترل آن دشوار می‌باشد. برخی از روش‌های ساده مانند عملیات شیمیایی و پوشش‌های ارزان عموماً ناپایدار یا شکننده هستند. علاوه بر آن هیچ روش منفردی نمی‌تواند طیف وسیعی از زوایای تماس را پوشش دهد. در این میان، فرآیند لیزر می‌تواند قابلیت کنترل بالا و انعطاف پذیری زیادی داشته باشد [۶]. طی مطالعات مختلف ثابت شده است که تابش لیزر می‌تواند تغییرات قابل توجهی در مشخصه‌های ترشوندگی ایجاد کند. البته لازم به ذکر است که انواع لیزرهای مختلف می‌تواند اثرات متفاوتی بر میزان تغییر ترشوندگی بگذارند [۷]. علاوه بر این، پیاده‌سازی الگوهای مختلف روی سطح نیز می‌تواند بر میزان آبگریزی تاثیر داشته باشد که البته این اثر متناسب با الگوی ایجاد شده متفاوت می‌باشد. تاثیر الگوی ایجاد شده به گونه‌ای است که می‌تواند سطحی با خواص ترشوندگی متفاوت از آبدوست تا آبگریز ایجاد نماید [۵]. نتایج تحقیقات Guo و همکارانش بیانگر این بوده است که ساختارهای میکرو-

¹ wetting

² Contact angle

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

نانومقیاس^۱ و ساختارهای ریزخطوط^۲ همراستا^۳، خاصیت آبرگریزی خوبی از خود نشان می‌دهند [۸]. این ساختار، الهام گرفته از برگ گیاهان طبیعی است. مشاهدات محققان نشان داده است که برگ گیاه برنج آسیایی^۳ و گل مرغ بهشت^۴ که اثر آبرگریزی و خودتمیزشوندگی از خود نشان می‌دهند، حاوی میکروشیارهای موازی روی سطح خود می‌باشند [۹]. در نهایت می‌توان گفت با ترکیب این دو اصل، به صورت ایجاد الگوی میکروساختاری با استفاده از حکاکی لیزر، این امکان ایجاد خواهد شد که به طیفی از زوایای تماس دست پیدا کرد.

همانطور که گفته شد یکی از راهکارهای اصلی بهبود خواص سطحی مواد، مهندسی سطح توسط لیزر است. در این مطالعه از لیزر برای اصلاح سطح و تغییر میزان ترشوندگی استفاده شده است. در این تحقیق با استفاده از لیزر فیبری Yb، الگوهایی به صورت شیارهایی موازی بر سطح نمونه‌ها ایجاد شده است. تاثیر الگوهای مختلف بر ترشوندگی، با ایجاد تغییر در میزان فاصله میان شیارها قابل بررسی شده است. زوایای تماس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش تحقیق

نمونه‌های فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ با قطر ۲ سانتی متر و ضخامت ۳ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفتند. برای داشتن سطح یکنواخت عملیات سمباده‌زنی و پولیش انجام شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار گرفتند. آزمون‌ها در اتمسفر هوا با دستگاه لیزر فیبری مدل Smark 500F ساخت شرکت Sisma انجام شدند. در این روش، لیزر از یک منبع تولید نوری تولید و توسط فیبر نوری منتقل می‌گردد. لیزر به کار گرفته شده Yb-1064 nm از نوع پالسی با پهنای پالس ۵۰ نانوثانیه می‌باشد. پارامترهای آزمایشگاهی دستگاه لیزر در جدول ۱ به طور خلاصه آورده شده است. برای بررسی تاثیر لیزر و الگوهای ایجاد شده توسط آن بر ترشوندگی، اندازه‌گیری زاویه‌های تماس سطحی توسط دستگاه CA-ES10 انجام شد.

نتایج و بحث

ترشوندگی یکی از مشخصه‌های سطحی مهم است که میزان ارتباط سطح با مایعات پیرامون آن را تعیین می‌کند. نوع میکروساختار ایجاد شده و میزان فاصله میکرونی برآمدگی‌های ایجاد شده بر آن (D) بر ترشوندگی تاثیر مستقیم دارد. اندازه‌گیری زاویه تماس، روشی ساده برای ارزیابی میزان ترشوندگی سطح می‌باشد. در این

¹ hierarchical

² Unitary

³ Oryza sativa

⁴ Strelitzia reginae

تحقیق، با استفاده از روش حکاکی لیزری، ساختاری منظم با شیارهای موازی با فواصل ثابت و مشخص (D) ایجاد شده است. برای ارزیابی ارتباط میان D و ترشوندگی سطح، نمونه‌ها با D متفاوت انتخاب شده است و با هم مقایسه شده اند. سطح نمونه‌ها به ترتیب دارای شیارهایی موازی به فواصل ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۰۷ و ۰/۰۹ میلی متر می‌باشند. شکل ۱ تصاویر زوایای تماس اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های a تا f، به ترتیب از چپ به راست را نشان می‌دهد. نمودار ۱ تغییرات زاویه تماس برای نمونه‌های مختلف حکاکی شده با لیزر را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از ۱۲۸ درجه تا ۸۹ درجه برای نمونه‌های a تا e به دست آمده است. زاویه تماس سطح فولاد زنگ نزن لیزر نشده (نمونه f) برابر ۸۰ درجه است. حداکثر زاویه تماس مربوط به نمونه a برابر ۱۲۸ درجه می‌باشد که فاصله بین شیارهای آن (D) برابر ۱ میکرون بوده است. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که پیاده‌سازی الگوی میکروساختاری به صورت شیارهای موازی، باعث تغییر در خواص ترشوندگی سطح فولاد شده است. با افزایش فاصله میان میکروشیارهای ایجاد شده از ۱ میکرون تا ۹۰ میکرون مقدار زاویه تماس کاهش می‌یابد. این مورد را می‌توان با استفاده از نظریه ونزل^۱ توضیح داد. این نظریه، معادله‌ای را برای بیان زاویه تماس سطح زبر پیشنهاد می‌کند. معادله ۱ نشان‌دهنده نظریه ونزل می‌باشد. در این معادله، θ زاویه تماس تعادلی و θ_a زاویه تماس ظاهری مشاهده شده با میکروسکوپ است. r نیز نسبت زبری^۲ سطح است.

$$\cos \theta_a = r \cos \theta \quad (1)$$

بر اساس این تئوری، می‌توان افزایش زاویه تماس ظاهری (افزایش آبگریزی) در اثر افزایش زبری را توجیه نمود [۱۰]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ایجاد الگوهای مختلف میکروساختاری، منجر به بروز رفتارهای ترشوندگی متفاوتی می‌شود که تحت تاثیر نوع و مقیاس الگوی پیاده شده است [۱۵-۱۱]. لازم به ذکر است، در مطالعات بسیاری آورده شده که سطح نمونه بلافاصله پس از حکاکی لیزری بسیار آبدوست می‌شود و پس از گذشت چند روز (حداقل ۴۰ روز به طور عمومی برای همه نمونه‌ها از جنس‌های مختلف) به حالت تعادل رسیده و رفتار آبگریزی از خود نشان می‌دهد. زمان گذر از حالت آبدوستی به آبگریزی و حصول حالت تعادل، با کاهش فاصله میان شیارها کاهش می‌یابد [۱۶]. در این تحقیق، ارزیابی‌های زاویه تماس پس از گذشت ۶۰ روز از حکاکی لیزری انجام شده است.

Hao و همکارانش از مهندسی سطح توسط لیزر برای تغییر زبری و انرژی سطحی زیرکونیا استفاده کرده‌اند. آن‌ها گزارش کرده‌اند که تغییرات میکروساختاری سطح تاثیر بیشتری نسبت به رافنس سطح بر رفتار ترشوندگی

¹ Wenzel theory

² roughness

داشته است [۱۷]. Mazur و همکاران، و Stratakis و همکارانش با استفاده از لیزر فمتوثانیه، برجستگی‌هایی در مقیاس میکرون بر سطح Si ایجاد کردند. آن‌ها توانستند با استفاده از این روش به سطحی ابرآبگریز دست پیدا کنند [۱۸ و ۱۹]. Mazumder و همکارانش، با استفاده از حکاکی لیزری (فمتوسکوند) بر فولاد زنگ‌نزن 316L، ساختاری سطحی به صورت الگوی میکرو-مخروطی ایجاد کردند. آن‌ها توانسته‌اند با استفاده از این روش، خواص ترشوندگی سطح را قابل کنترل نمایند. آن‌ها همچنین، با تغییر پارامترهای لیزر، به طیف وسیعی از زوایای تماس، از آبدوست تا آبگریز (زاویه بین ۰ تا ۱۲۰)، دست یافته‌اند [۶]. Zhang و همکارانش با استفاده از روشی تک مرحله‌ای، ساختاری با الگوی خطی روی سطح پلی دی متیل سیلوکسان توسط لیزر فمتوثانیه ایجاد کرده‌اند. آن‌ها، در تحقیق خود، فاصله میان شیارها را از ۱۰ تا ۴۰ میکرون تغییر داده‌اند. نتایج نشان داده است که فرآیند لیزر به همراه پیاده سازی الگوی میکروشیاری روی سطح پلیمر، بدون استفاده از پوشش با انرژی سطحی کم، باعث دستیابی به سطح ابرآبگریز با زاویه ای بیش از ۱۵۲ درجه شده است [۱۶]. در مطالعه‌ای دیگر، Duong و همکارانش، با استفاده از لیزر نانو ثانیه، الگویی به صورت میکروشیارهای موازی روی سطح مس و برنج ایجاد کردند. فاصله بین میکروشیارها نیز از ۲۵ تا ۱۰۰ میکرون برای هر کدام تغییر داده شده است. آن‌ها با استفاده از این روش توانسته‌اند به رفتار ابرآبگریزی برای مس و برنج دست پیدا کنند. علاوه بر این، در تحقیق خود، تاثیر تغییر پارامترهای لیزر بر زاویه تماس را نیز بررسی نموده‌اند. آن‌ها دریافتند با افزایش شدت تابش لیزر (دانسیته تابش) عمق شیار ایجاد شده برای مس و برنج افزایش یافته است. در صورتی که با افزایش شدت تابش، مقدار زاویه تماس برای مس کاهش یافته اما در مورد برنج تغییر چندانی ایجاد نشده است [۲۰]. مطالعات دیگری نیز روی مواد مختلف انجام شده است که نشان داده‌اند پیاده‌سازی الگوی میکروساختاری با استفاده از تابش لیزر، رفتار ترشوندگی را تا حدودی انتخابی و قابل کنترل نموده است [۲۱].

با استفاده از نتایج این تحقیق و مطالعات مشابه ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که مورفولوژی و میکروساختار سطح تاثیر بسیار مهمی بر رفتار ترشوندگی سطح دارد. روش حکاکی لیزری نیز روشی ساده و مناسب برای پیاده‌سازی الگوهای مد نظر برای تغییر ترشوندگی است. با تغییر نوع میکروساختار، تغییر ابعاد میکرونی و همچنین تغییر پارامترهای لیزر و نوع آن، می‌توان به طیف وسیعی از زوایای تماس دست یافت. بدین صورت متناسب با کاربرد مورد نظر، با تغییر پارامترهای ذکر شده، زوایای تماس مورد نیاز حاصل خواهند شد. از این ویژگی، می‌توان در صنایع گوناگون، زمینه‌های مختلف حوزه پزشکی و ساخت ابزار و تجهیزات آن استفاده بهینه نمود.

نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از روش حکاکی لیزری فیبری الگویی به صورت میکروشیارهایی موازی روی سطح فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ایجاد شده است. همچنین با تغییر فواصل میکروشیارها، تاثیر ابعاد میکرونی و میکروساختار بر میزان تغییر ترشوندگی، با استفاده از اندازه گیری زاویه تماس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که با ایجاد الگوی میکروشیاری بر سطح فولاد، رفتار ترشوندگی سطح تغییر می کند. همچنین، با کاهش فاصله میکرونی میان شیارها از ۹۰ میکرون تا ۱ میکرون، زاویه تماس از ۸۹ تا ۱۲۸ درجه افزایش می یابد. با تغییر نوع میکروساختار، تغییر ابعاد میکرونی و همچنین تغییر پارامترهای لیزر و نوع آن، می توان به طیف وسیعی از زوایای تماس دست یافت. بدین وسیله رفتار ترشوندگی، خاصیتی قابل کنترل برای کاربردهای مختلف در حوزه پزشکی و صنعت، خواهد شد. سطح آماده شده می تواند کاربردهای زیادی در پزشکی، از جمله ایمپلنتها، تجهیزات حوزه قلب و عروق، سطوح خودتمیزشونده و ... داشته باشد.

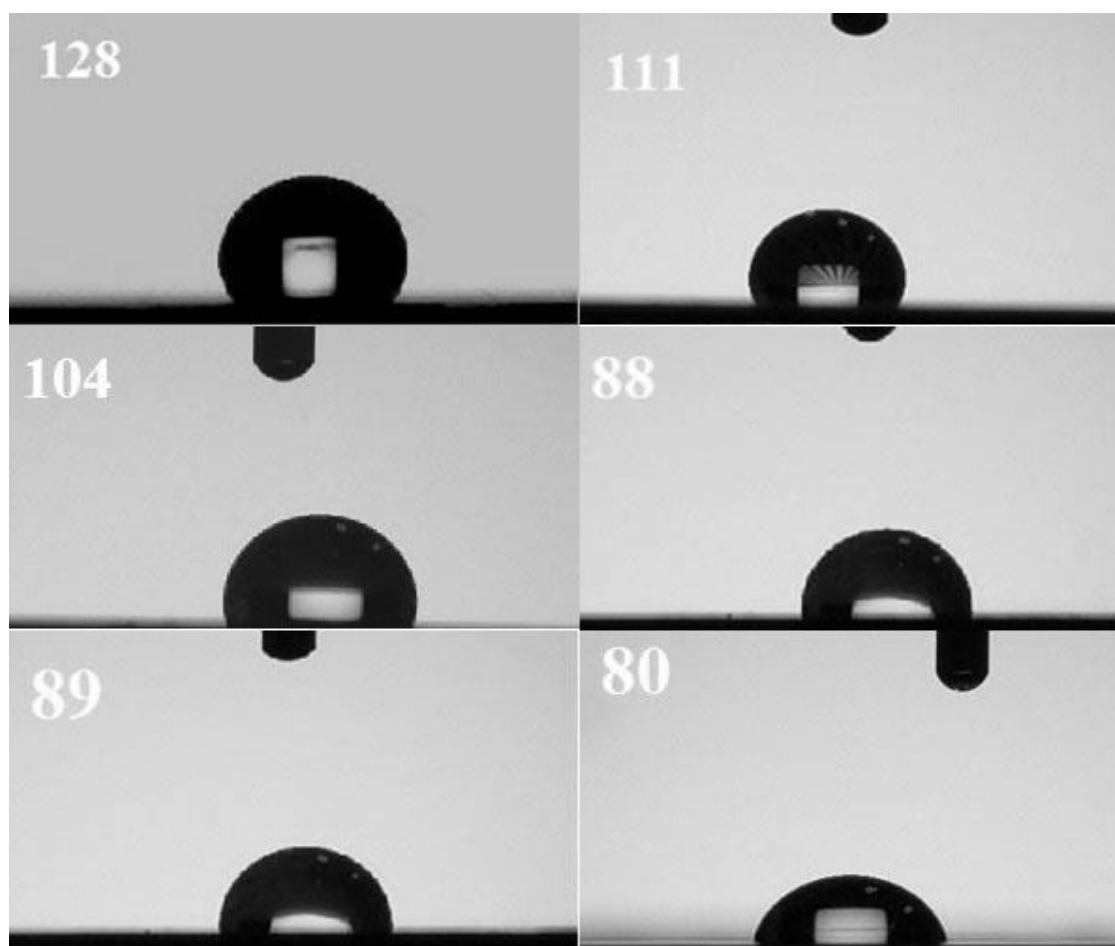
مراجع

1. L. D. Zardiackas, Stainless Steels for Implants, in *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
2. Y. Ke and R. Yibin, "Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications," *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 11, p. 014105, 2010.
3. A. Kurella and N. B. Dahotre, "Review paper: surface modification for bioimplants: the role of laser surface engineering," *J Biomater Appl*, vol. 20, pp. 5-50, 2005.
4. K. Kumazaki, M. Kuwata, T. Matsutani, and T. Nakayama, "Surface modification of biomaterial by laser irradiation method," in *Lasers and Electro-Optics, 1999. CLEO/Pacific Rim '99. The Pacific Rim Conference on*, 1999, pp. 1301-1302 vol.4.
5. N. A. Patankar, "Mimicking the Lotus Effect: Influence of Double Roughness Structures and Slender Pillars," *Langmuir*, vol. 20, pp. 8209-8213, 2004/09/01 2004.
6. D. H. Kam, S. Bhattacharya, and J. Mazumder, "Control of the wetting properties of an AISI 316L stainless steel surface by femtosecond laser-induced surface modification," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 22, p. 105019, 2012.
7. I. Y. Khalfallah, M. N. Rahoma, J. H. Abboud, and K. Y. Benyounis, "Microstructure and corrosion behavior of austenitic stainless steel treated with laser," *Optics & Laser Technology*, vol. 43, pp. 806-813, 2011.
8. Z. Z. Luo, Z. Z. Zhang, L. T. Hu, W. M. Liu, Z. G. Guo, H. J. Zhang, and W. J. Wang, "Stable Bionic Superhydrophobic Coating Surface Fabricated by a Conventional Curing Process," *Advanced Materials*, vol. 20, pp. 970-974, 2008.
9. X. Zhang, Z. Li, K. Liu, and L. Jiang, "Bioinspired Multifunctional Foam with Self-Cleaning and Oil/Water Separation," *Advanced Functional Materials*, vol. 23, pp. 2881-2886, 2013.
10. B. Bharat and J. Yong Chae, "Wetting, adhesion and friction of superhydrophobic and hydrophilic leaves and fabricated micro/nanopatterned surfaces," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 20, p. 225010, 2008.
11. A.-M. Kietzig, M. Negar Mirvakili, S. Kamal, P. Englezos, and S. G. Hatzikiriakos, "Laser-Patterned Super-Hydrophobic Pure Metallic Substrates: Cassie to Wenzel Wetting Transitions," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 25, pp. 2789-2809, 2011/01/01 2011.

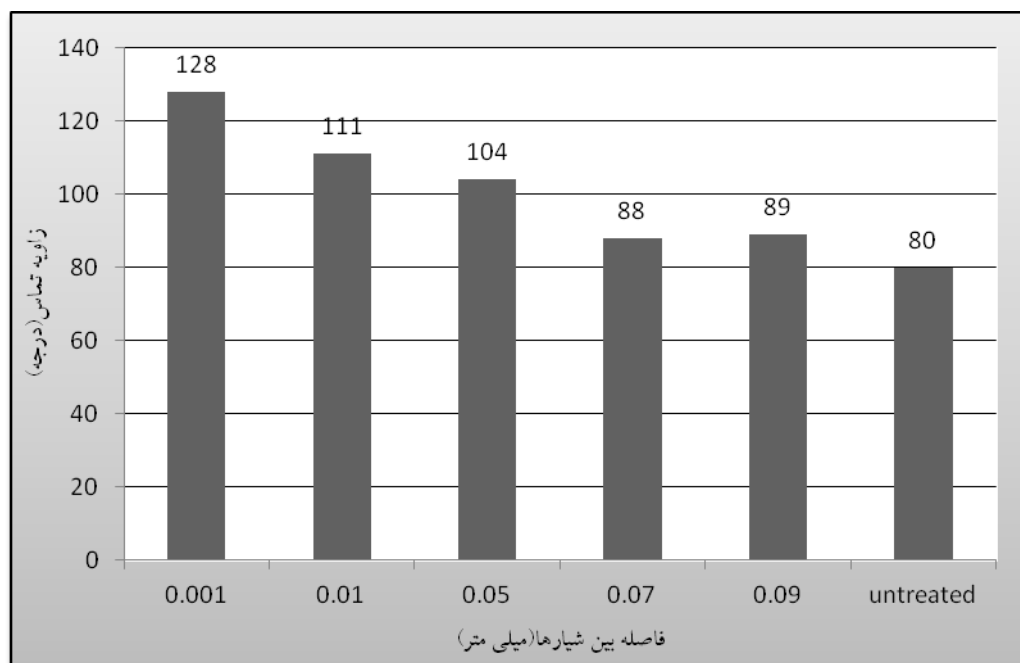
12. N. J. Hallab, K. J. Bundy, K. O'Connor, R. L. Moses, and J. J. Jacobs, "Evaluation of metallic and polymeric biomaterial surface energy and surface roughness characteristics for directed cell adhesion," *Tissue Eng*, vol. 7, pp. 55-71, 2001.
13. M. Lampin, R. Warocquier-Clérout, C. Legris, M. Degrange, and M. F. Sigot-Luizard, "Correlation between substratum roughness and wettability, cell adhesion, and cell migration," *Journal of Biomedical Materials Research*, vol. 36, pp. 99-108, 1997.
14. D. Öner and T. J. McCarthy, "Ultrahydrophobic Surfaces. Effects of Topography Length Scales on Wettability," *Langmuir*, vol. 16, pp. 7777-7782, 2000.
15. L. Hao and J. Lawrence, "Wettability in Biomaterials Science and Modification Techniques," in *Laser Surface Treatment of Bio-Implant Materials*, ed: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, pp. 23-36.
16. J. Yong, Q. Yang, F. Chen, D. Zhang, U. Farooq, G. Du, and X. Hou, "A simple way to achieve superhydrophobicity, controllable water adhesion, anisotropic sliding, and anisotropic wetting based on femtosecond-laser-induced line-patterned surfaces," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 2, pp. 5499-5507, 2014.
17. L. Hao and J. Lawrence, "Effects of CO2 laser irradiation on the wettability and human skin fibroblast cell response of magnesia partially stabilised zirconia," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 23, pp. 627-639, 2003.
18. T. Baldacchini, J. E. Carey, M. Zhou, and E. Mazur, "Superhydrophobic surfaces prepared by microstructuring of silicon using a femtosecond laser," *Langmuir*, vol. 22, pp. 4917-4919 2006.
19. V. Zorba, E. Stratakis, M. Barberoglou, E. Spanakis, P. Tzanetakis, S. H. Anastasiadis, and C. Fotakis, "Biomimetic Artificial Surfaces Quantitatively Reproduce the Water Repellency of a Lotus Leaf," *Advanced Materials*, vol. 20, pp. 4049-4054, 2008.
20. D. V. Ta, A. Dunn, T. J. Wasley, R. W. Kay, J. Stringer, P. J. Smith, C. Connaughton, and J. D. Shephard, "Nanosecond laser textured superhydrophobic metallic surfaces and their chemical sensing applications," *Applied Surface Science*, vol. 357, Part A, pp. 248-254, 2015.
21. L. Hao, J. Lawrence, and L. Li, "The wettability modification of bio-grade stainless steel in contact with simulated physiological liquids by the means of laser irradiation," *Applied Surface Science*, vol. 247, pp. 453-457, 2005.

جدول ۱: پارامترهای لیزر استفاده شده در حین عملیات حکاکی لیزر فیبری بر سطح فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴.

Parameter	Value
Wavelength (nm)	1064
Laser Technology	Yb
Average Output Power [W]	50
Pulse width (ns)	250/40
repetition rate range (KHz)	1-500



شکل ۱: تصاویر مربوط به زوایای تماس بدست آمده از نمونه‌های a تا f (به ترتیب از چپ به راست)



نمودار ۱: تغییرات زاویه تماس برای نمونه های a تا f به ترتیب از چپ به راست. فاصله بین شیارها (D) از ۰,۰۰۱ تا ۰,۰۹ میلی متر برای نمونه a تا ۰,۰۹ میلی متر برای نمونه e تغییر داده شده است. نمونه f نیز سطح فولاد لیزر نشده می باشد.