## فرآیندهای نوین در مهندسی مواد

#### ma.iaumajlesi.ac.i<u>r</u>

## تأثیر هندسه بافت سطحی لیزری و حجم قطره بر زاویه تماس با زیر لایه Ti۶Al۴V

غلامرضا دباغ'، سيد خطيب الاسلام صدرنژاد `\*، رضا شجاع رضوى``، اميرعباس نوربخش أ، ناهيد حسنزاده نعمتى^

۱- دانشجوي دكتري بيومتريال، گروه مهندسي پزشكي، واحد علوم و تحقيقات، دانشگاه آزاد اسلامي، تهران، ايران.

۲- استاد تمام علم مواد و مهندسی، دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۳- استاد تمام علم مواد و مهندسی، دانشکده مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۴- دانشیار علم مواد و مهندسی، گروه علم مواد، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران.

۵- استادیار مهندسی پزشکی گرایش بیومتریال، گروه مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

sadrnezh@sharif.edu\*

چکیدہ	اطلاعات مقاله
اصلاح سطح كاشتني با ايجاد بافت سطحي ليزرى بهترين روش شناخته شده براي افزايش چسبندگي است. بهترين الگوي بافت سطحي ليزري هنوز ناشناخته	دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴
است. بهمنظور بررسی ویژگیهای دیگری از الگوی جدید پیشنهادی نویسندگان، در این پژوهش ابتدا بافتهای جدید خطوط متقاطع با زاویههای ۰، ۱۵،	پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶
	کلید واژگان:
ثبت و آنالیز تصویر قطره و ۲–بکارگیری معادلات اکسترند و مون اندازه گیری شد. قطرههای آب در دو حجم ۱µlit و ۲۵µlit انتخاب شدند. با استفاده از	زاويه تماس سطحي
میکروسکوپ متالورژی، SEM، بکارگیری معادلات ونزل و کسی و رسم نمودارهای مربوطه، تأثیر زاویه بین خطوط، ارتفاع، جدایی و پهنای ستونهای	بافت سطحي ليزرى
بافت سطحی بر زاویه تماس قطره بررسی شد. مدل کلاسیکی ترشوندگی بافتها تعیین شد. نتایج نشان داد برای قطره با حجم ۱µlit زاویه تماس در هر دو	زاويه خطوط متقاطع
روش تقریباً ثابت و مستقل از زاویه خطوط متقاطع است که سازگاری خوبی با نتایج تحقیقات قبلی دارد. برای قطره با حجم ۲۵ لزاویه تماس در هر دو	حجم قطره
روش متغیر و وابسته به زاویه خطوط متقاطع میباشد. مدل کلاسیک ترشوندگی بافت.ها در هر دو حجم قطره منطبق بر مدل ونزل میباشد.	روش قطره ساكن

#### Effect of Geometry of Laser Surface Texture and Droplet Volume on Contact Angle with Ti۶Al۴V Substrate

#### Gholam Reza Dabbagh<sup>1</sup>, Seyed Khadeb Al Islam Sadrnezhaad<sup>r\*</sup>, Reza Shoja Razavi<sup>r</sup>, Amir Abbas Nourbakhsh<sup>r</sup>, Nahid Hassanzadeh Nemati<sup>4</sup>

1- Doctoral student, Department of Biomedical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Y- Professor of Materials Science and Engineering, Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

r- Professor of Materials Science and Engineering, Faculty of Materials and Manufacturing Technologies, Malekashtar University of Technology, Tehran, Iran.

F- Associate Professor of Materials Science and Engineering, Department of Material Science, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

a- Assistant Professor of Biomedical Engineering, Department of Biomedical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

\* sadrnezh@sharif.edu

مقاله يژوهشي

**Article Information** Original Research Paper Dor:

Implant surface modification by creating laser surface texturing is the best known method to increase adhesion. The best pattern of laser surface texturing is still unknown. In order to investigate other features of the new pattern proposed by the authors, in this research, first, the new surface patterns of intersecting lines with angles of ., 10, r., 40, r., vo, and 3. degrees on the surface of TiPAIFV alloy using pulse Nd: YAG laser was created.

Then the contact angle of water droplets was measured by two methods: 1- recording and analyzing the image of

Gholam Reza Dabbagh, Seyed Khadeb Al Islam Sadrnezhaad, Reza Shoja Razavi, Amir Abbas Nourbakhsh, Nahid Hassanzadeh Nemati, Effect of Geometry of Laser Surface Texture and Droplet Volume on Contact Angle with Ti۶AlFV Substrate, New Process in Material Engineering, ۲۰۲۳, ۱۷(۳), ۳۷-۵۰.

#### **Keywords:**

Surface Contact Angle Laser Surface Texturing Intersecting Lines Angle Droplet Volume Sessile Droplet Method

آنقدر کوچک باشد که اطمینان حاصل شود شکل قطره توسط گرانش بیش از حد منحرف نشده تا تأثیر کمی بر مشخصات نوری قطره داشته باشد [۴–۵]. زمانی که قطره های خیلی کوچک مورد مطالعه قرار می گیرند شاید نیاز باشد که اثر خط کشش روی اندازه گیری زاویه تماس در نظر گرفته شود [۶–۷]. از آنجایی که اغلب قطر قطره آب ساکن حدود مسود [۶–۷]. ایت انها پیشنهاد می شود که ابعاد بافت سطحی Ti۶Al۴۷ در رنج mμ ۲۰۰۰–۱۰۰ انتخاب شوند تا داده های به دست آمده برای زاویه تماس هنوز مفید و قابل استفاده باشند [۳].

کرینیس<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۴ نشان داد که برای قطرههای در بازهی ۱-۱۰µlit روی زاویه تماس اندازه گیری شده هیچ تأثیری ندارد. بهعنوان یک اولویت کرینیس اشاره کرد که بر ای سطوح آبدوست قطرههای کوچک تر ترجیح داده می شوند و برای سطوح آبگریز، قطرههای بزرگتر مطلوب تر می باشند [۸]. با فرض کروی بودن قطره، قطرهی ساکن با سه کمیت قطر پایه (۲۵)،

ار تفاع (h) و زاویه تماس θ توصیف می شود (شکل ۱). وابستگی شکل قطره و زاویه تماس به حجم قطرهی ساکن روی سطح PFA<sup>6</sup> برای قطره های آب، اتیلن گلیکول و دی یودومتان در سال ۲۰۱۰ توسط اکسترند و مون<sup>6</sup> مورد مطالعه قرار گرفت و اثر حجم قطره را همان گونه که از ۱ تا ۲۰۰۰ میکرولیتر تغییر می کرد، بررسی کردند [۹]. نتایج نشان داد که برای رژیم قطرات با حجم کوچک (تقریباً کمتر از اسا ۱۰) هر دوی ۲۵ و ۸ همان طوری که حجم قطره زیاد می شود، افزایش می یابند و ۲۵ وابستگی خطی به ۸ دارد که بیانگر که چنانچه قطرات به اندازه کافی کوچک باشند می توان آنها ۱- مقدمه

چسبیدن سلول به سطح کاشتنی<sup>'</sup>، نه تنها به میزان زبری سطح بلکه به ترشوندگی<sup>'</sup> آن نیز وابسته است. معیارهای بررسی ترشوندگی سطح، اندازه گیری زاویه تماس و محاسبه انرژی آزاد آن میباشد [۱–۲]. زاویه تماس سطح جامد از روش های مختلفی اندازه گیری میشود که یکی از این روش ها، روش قطرهی ساکن (چسبیده یا نشسته) میباشد. در این روش قطره یا حجم مشخص و با استفاده از یک سرنگ یا قطره چکان مویرگی، روی سطح جامد قرار داده می شود و جانبی از مقطع قطره و سطح زیرین آن صورت می گیرد. با رسم بردارهای کشش سطحی و خط مماس بر سطح قطره (آنالیز تصویر قطره) می توان زاویه تماس  $\theta$  را اندازه گیری کرد [۳].

معیار اساسی برای مطالعه زاویه تماس استاتیکی عبارت است از اینکه باید قطره مایع و سطح جامد زیرین آن از لحاظ فیزیکی و شیمیایی غیر برهم کنشی باشند و علاوه بر آن چون زاویه تماس به صورت نوری اندازه گیری می شود، سطح جامد باید از نظر نوری صاف باشد. به همین دلیل سیمای سطح<sup>7</sup> جامد باید نسبت به اندازه قطر قطره مایع همگن باشد و هر گونه ناهمگنی ریزمقیاس که منشأ فیزیکی یا شیمیایی داشته باشد، باید کوچک بوده و باعث هیچ گونه تغییری در مشخصات نوری قطره ساکن نگردد. برای اندازه گیری دقیق و قابل تکرار زاویه تماس سطوح زبر یا دارای بافت سطحی، باید در انتخاب اندازه قطره دقت شود [۳].

محاسبات نظری روی سطوح دارای بافت سطحی نشان داده است که برای جلو گیری از قابل توجه بودن انحراف خط تماس قطره ناشی از بافت سطح، اندازه قطره باید حداقل ۲ تا ۳ بار بزرگ تر از ابعاد بافت سطحی باشد و همزمان نیز قطره باید

$$h = a \tan \theta / \mathbf{y} \tag{1}$$

$$\theta = \mathsf{Y} tan^{-\mathsf{Y}} \left(\frac{h}{a}\right) \tag{Y}$$

همچنین برای قطرات در رژیم متوسط (بین ۱۰µlit تا µlit ۱۰۰۰) می توان نوشت:

$$h_m = \left[ \mathbf{Y} \left( \frac{\gamma}{\rho g} \right) (\mathbf{1} - \cos \theta) \right]^{\frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y}}} \left[ \mathbf{1} + \left( \frac{\gamma}{\rho g} \right)^{\frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y}}} \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y}a} \right]^{-\frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y}}} \quad (\mathbf{Y})$$

که می توان θ را با اندازه گیری مقادیر h<sub>m</sub> (ار تفاع قطره متوسط) و a از روی تصویر قطره ساکن، جایگذاری مقادیر مشخص γ (انرژی آزاد سطح مایع)، ρ (چگالی) و g (شتاب ثقل محیط) با کمک معادله زیر محاسبه نمود:

$$\theta = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{h_m^{\ \gamma} \left[ 1 + \left(\frac{\gamma}{\rho g}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma}} \frac{\gamma}{\gamma a} \right]}{\gamma \left(\frac{\gamma}{\rho g}\right)} \right)$$
(F)



شکل (۱): تصویری شماتیک از رفتار قطره مایع بر روی سطح جامد.

**نمونه:** جهت گیری انرژی آزاد سطح جامد، انرژی آزاد سطح مایع، انرژی آزاد مرز مشترک جامد- مایع به انضمام زاویه تماس نشان داده شده است. h و ۲۵ به ترتیب ارتفاع و قطر قطرهی ساکن میباشند. در سال ۲۰۱۴ مشاهدهای متفاوت توسط کنسوی<sup>۷</sup> گزارش شد که نشان میداد اندازه گیری زاویه تماس برای آب روی چندین سطح فوق آبگریز با میکروبافتهای سطحی، بهاندازه قطره در محدودهی ۰/۵ تا ۱۹ میکرولیتر حساس نیست [۱۰].

ژاا □ و جانگ<sup>4</sup> در سال ۲۰۱۸ نشان دادند که برای جلوگیری از تغییر شکل قطره ناشی از گرانش باید آن را کوچک انتخاب نموده و حجم آن بین ۵/۰ تا ۱۰ میکرولیتر باشد [۱۱]. دریلیچ<sup>4</sup> در سال ۲۰۱۹ با بررسی سطوح الگو دار نشان داد که مکان و مقدار طول و شکل خط تماس سه فاز جامد، مایع و بخار برای توصیف پایدارترین زوایای تماس موردنیاز است [۲۲]. در سال ۲۰۲۰ توسط گوکبر که اوزچلیک و همکارانش<sup>۱۰</sup> تأثیر اندازه قطره روی زاویه تماس سطوح ناهمگن و الگو دار سیلیکا مورد بررسی قرار گرفت و اندازه قطره بهاندازه ناهمگنی یا الگوی سطحی ثابت باشد، اندازه قطره بهاندازه ناهمگنی یا الگوی سطحی ثابت باشد، تغییرات زاویه تماس یک رفتار جهانی به صورت خطی ثابت، مستقل از اندازه قطره و الگوی سطح نشان می دهد. اگر قطر

$$\cos\theta_{CB} = f\cos\theta + (f-1) \tag{V}$$

در این معادله  $\theta_{CB}$  زاویه کسی– باکستر،  $\theta$  زاویه تماس سطح صاف (بدون بافت) همان ماده و f کسر جامد– مساحت<sup>۱۹</sup> (یا کسر جامد کسی<sup>۲۰</sup>) است که با معادله (۸) تعیین می شود:

$$f = \frac{a}{a+b} \tag{A}$$

لی و امیرفضلی<sup>۲۱</sup> در سالهای ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ [۲۱-۲۳] ضمن معرفی معیاری برای انتقال بین حالتهای ترشوندگی مرکب و غیر مرکب، نشان دادند که می توان از این معیار برای طراحی سطوح فوق آبگریز استفاده کرد. همچنین با استفاده از دو مدل ونزل و کسی به تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی سطوح فوق آبگریز دارای میکروبافت سطحی پرداختند.

نویسندگان این مقالـه قـبلاً در سـال ۲۰۲۱ بـا اسـتفاده از روش قطرهی ساکن<sup>۲۲</sup> زاویهی تماس نمونههایی از جنس Ti۶Al۴۷ که توسط لیزر پالسی Nd: YAG با طول موج nm ۱۰۶۴ و طول پالس ۱۷۰ nsec بافت جدید خطوط کندگی متقاطع با زاویه های°۰، °۱۵، °۳۰، °۴۵، °۶۰، °۷۵ و<sup>°</sup>۹۰ روی آنها به وجود آمده بود را برای قطرهی آب با حجم ulit و اندازه گیری کردند [۱۴]. سپس با محاسبه انرژی آزاد سطح نمونهها، نتیجه گیری شد که وابستگی زاویه تماس و انرژی آزاد سطح به زاویه خطوط متقاطع بافت سطحی بـهصورت تابعی سینوسی میباشد. همچنین رابطه معنیداری بین زاویه تماس و انرژی آزاد سطح با تعداد کل خطوط، تعداد تقاطعهای بافت سطحی لیزری و عمق میکروشیارها در آن حجم قطره دیده نشد. در این پژوهش نیز از همان نمونهها (با همان جنس و ابعاد)، همان ليزر و همان بافت هاي سطحي ليزرى استفاده شده است كه اين موضوع نقطه اشتراك مطالعه كنوني و تحقيق قبلي ميباشد.

قطره تقريباً ۲۴ برابر اندازه ساختار سطحی شود، اثر گیرهای ناپدید خواهد شد. چنانچه قطره همواره بر روی تعداد مشخصی از الگوها قرار گرفته باشد با افزایش حجم قطره زاویه تماس به صورت خطی افزایش می یابد [۱۳]. با كاهش زاویه تماس، ترشوندگی یک سطح افزایش مییابد (و بالعكس) [۱-۲]. لذا بهجاي بررسي تأثير ويژگيهاي سطح روى زاويه تماس به تأثير اين ويژگيها روى ترشوندگي سطح پرداخته می شود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح روی ترشوندگی آن تأثیر گذار است. از دید فیزیکی سطوح حتی با مقدار زبري يكسان هم اگر چنانچه داراي هندسههاي متفاوت (بافتهای سطحی متفاوت) باشند می توانند ترشوندگی کاملاً متفاوتی از خود نشان دهند [۱۹]. از نقطه نظر ترمودینامیکی، موضوع هندسه سطح و تأثیرش بر ترشوندگی آن توسط مدل،های کلاسیکی ونزل'' (ترشوندگی'' یا حالت غیر مركب") [1۹] وكسي، الإغير ترشوندگي، ايا حالت مرکب<sup>۱</sup>) [۲۰] قابل پیش بینی است. مدل ونزل که در آن قطره مايع همه جاي سطح زبر زيرين خود را تر مي كند با معادله (۵) تعريف مي شود:

$$\cos\theta_w = r\cos\theta \tag{(b)}$$

در این معادله  $\theta_w$  زاویه ونزل،  $\theta$  زاویه تماس سطح صاف (بدون بافت) همان ماده و r فاکتور زبری سطح <sup>۱۷</sup> (نسبت زبری ونزل<sup>۱۸</sup>) است که با معادله ( $\theta$ ) داده می شود:

$$r = 1 + \frac{\hbar}{(a+b)} \tag{(2)}$$

در این معادله h ارتفاع، a پهنا و b جدایی ستون های بافت سطحی می باشد. دومین مدل عبارت است از مدل کسی (یا کسی – باکستر) که در آن هوا بین سطوح قطره مایع و جامد زیرین آن به دام می افتد و لذا همه جای سطح زبر توسط قطره مایع تر نمی شود که به این حالت غیر ترشوندگی یا حالت مرکب نیز گفته می شود و با معادله (۷) تعریف می شود:

در این مطالعه برای بررسی ویژگیهای دیگر بافتهای جدید خطوط متقاطع با زاویه • تا ۹۰ درجه، ابتدا وابستگی زاویه تماس به حجم قطره و زاویه خطوط متقاطع بافت سطحی در نمونههای مختلف، برای قطرات آب در دو حجم باالا ۱ و اند مونههای مختلف، برای قطرات آب در دو حجم بالا ۱ و ۲) روش محاسباتی با استفاده از معادلات اکسترند و مون چندین بار بررسی می گردد. سپس تأثیر کمیات هندسی بافت سطحی روی زاویه تماس قطره در هر دو حجم مطالعه و مدل کلاسیکی ترشوندگی نمونهها تعیین می شود.

### ۲- مواد و روش تحقیق

mm<sup>۳</sup> در این پژوهش برای نمونه های آلیاژ Ti۶Al۴V به ابعاد Ti۶Al۴۷ به ابعاد Ti۶Al۴۷ به Nd: YAG ۳×۱۰×۲۰ که توسط لیزر پالسی NA: YAG با طول موج ۱۰۶۴ و طول پالس nsec nsec خطوط کندگی متقاطع با زاویه های<sup>0</sup>۰، <sup>0</sup>۵۱، <sup>0</sup>۰۰، <sup>0</sup>۵۶، <sup>0</sup>۰۶، <sup>0</sup>۵۷ و <sup>0</sup>۰۹ روی آنها به وجود می آید، ابتدا با استفاده از روش تجربی ضبط و آنالیز تصویر قطره ی ساکن و سپس با بکارگیری معادلات اکسترند و مون، زاویه تماس قطره های آب در دو حجم ۱۰ اندازه گیری ۱ (رژیم کوچک) و ۲- ۲۵ الما۲ (رژیم متوسط) اندازه گیری می شود. سپس تأثیر زاویه بین خطوط متقاطع، پهنا، ارتفاع و تماس اندازه گیری شده، در هر دو حجم قطره، مورد بررسی قرار می گیرد. در انتها با استفاده از نتایج به دست آمده، مدل کلاسیکی ترشوند گی نمونه ها، ارزیابی و تعیین می شود.

#### Ti۶Al۴V مواد و آمادهسازی نمونههای Ti۶Al۴V

از یک شمش Ti۶AI۴۷ با استفاده از دستگاه وایرکات چینی مدل ۲۰۶ RobiFil تعداد ۸ قطعه مکعب مستطیلی به ابعاد "mm ۳×۱۰×۲۰ (به عنوان نمونه های آزمایشگاهی) جدا گردید. پس از شستشوی قطعات با استون، یکی از سطوح آنها به عنوان سطح هدف برای ایجاد بافت لیزری انتخاب گردید. سطوح انتخاب شده به ترتیب با استفاده از کاغذ سنباده شماره ۱۰۰ تا

۲۵۰۰ ساییده شدند تا سطح صیقلی و آینه ای با زبری کمتر از ۱۰ میکرومتر به دست آید [۲]. بعد از آن همهی نمونه ها برای تمیز کاری در حمام اولتر اسونیک شرکت Elma مدل P Elmasonic P قرار داده شدند و به ترتیب برای ۱۵ دقیقه با استون، ۲۰ دقیقه با اتانل و ۲۰ دقیقه با آب مقطر شسته شدند. یکی از آنها به عنوان نمونه شاهد (S۱) نام گذاری گردید (نمونه ای که هیچ گونه بافت سطحی لیزری روی آن ایجاد نشد) و بقیه نمونه ها برای اجرای الگوهای بافت سطحی لیزری روی آنها بکار گیری شدند.

#### ۲-۲- فرآیند تابش لیزر و ایجاد بافت سطحی

فرآيند تابش ليزر و ايجاد بافت سطحي روى نمونهها با استفاده از یک دستگاه لیزر نئودیمیوم- یاگ" پالسی ساخت شرکت دانش بنیان نوین لیزر صبا واقع در پارک علم و فن آوری دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. مشخصات فیزیکی مناسب این سیستم لیزر برای ایجاد خطوط کندگی با پهنای ۵۰ میکرومتر، عمق ۱۲ میکرومتر و فاصله دو قعر بین ۱۰۰ تـا ۲۰۰ میکرومتر (مناسب برای اهداف کشت سلولی [۱۵–۱۷])، طول موج nn ،۱۰۶۴ فر کانس ۱۵ KHz، جریان ۳۸۸، توان W ۱۲، پهنای پالس ۱۷۰ ns، تکرار ۱۵۰ review و سرعت روبش سطحی ۲۰۰ mm/s میباشد [۱۴]. ابتدا الگوی بافت همر نمونه در سیستم کنترل لیزر شبیه سازی شد و سپس روی نمونه ها اجرا گردید. به این ترتیب که روی نمونه ی دوم (S۲)، تعداد صد شیار موازی با پهنای ۵۰ میکرومتر و فاصله دو قعر ۱۰۰ ميكرومتر ايجاد شد. روى ساير نمونهها، ابتدا پنجاه شيار موازى با پهنای ۵۰ میکرومتر و فاصله دو قعر ۲۰۰ میکرومتر ایجاد گردید و سپس تعداد پنجاه شیار متقاطع با شیارهای اولیه (با همان پهنای ۵۰ میکرومتر و فاصله دو قعر ۲۰۰ میکرومتر) به ترتيب با زاويه ۱۵ درجه (S۳)، ۳۰ درجه (S۴)، ۴۵ درجه (S۵)، ۶۰ درجه (S۴)، ۷۵ درجه (S۷) و ۹۰ درجه (S۸) ایجاد گردید. لذا همه نمونه ها، دارای ۱۰۰ میکرو شیار<sup>۴۴</sup> لیزری با پهنای ۵۰ میکرومتر شدند و تفاوت آنها در زاویه بین

میکروشیارها (از ۲۰ تا ۹۰ درجه)، طول خطوط، تعداد گوشهها و ابعاد ستونهای سطحی (ارتفاع، جدایی و پهنای ستونها) است. در جدول (۱) مشخصات نمونهها به همراه الگوی میکروشیارها به تفکیک آورده شده است. پس از اتمام فرآیند تابش لیزر، مشابه قبل همگی نمونهها در حمام اولتراسونیک به ترتیب با استون ۱۵ دقیقه، اتانل ۲۰ دقیقه و آب مقطر ۲۰ دقیقه شسته شدند.

۲-۳- مشاهده و مقایسه بافت سطحی نمونهها

به منظور مشاهده و مقایسه بافت سطحی نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ متالورژی شرکت صا ایران مدل ۴۲۰-IMM و بکارگیری یک دوربین دیجیتال، تصاویری از سطح نمونه ها به همراه نمونه شاهد در بزرگنمایی ۲۰ برابر گرفته شد. با استفاده از نرمافزار فوتوشاپ، نقّاله ای با دقت ۱ درجه روی این تصاویر قرار گرفته و بدین ترتیب برای تمام نمونه ها زاویه میکروشیارهای سطحی اندازه گیری شد.

## ۲-۴- ریختشناسی، سیما سنجی و اندازه گیری ابعاد هندسی بافت سطحی نمونهها

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲۵</sup> نشر میدانی شرکت فیلیپس هلند مدل ۳۰– XL تصاویری از سطح نمونهها در بزرگنماییهای مختلف برای ریختشناسی، سیماسنجی و همچنین اندازه گیری ابعاد میکروشیارها گرفته شد.

#### ۲–۵– اندازه گیری زاویهی تماس

فر آیند اندازه گیری زاویه تماس برای قطره های آب با حجم ۲۵µlit (رژیم متوسط) و حجم ۱µlit (رژیم کوچک) با استفاده از دو روش انجام شد: ۱) روش قطرهی ساکن (لاو و ژائو<sup>۲۶</sup>، ۲۰۱۶ [۳] و با استفاده از ضبط و آنالیز دستی تصویر قطره و

۲) محاسبه از روش معادلات اکسترند و مون با استفاده از قطر و ارتفاع قطره.

## ۲-۵-۱-۱ اندازه گیری زاویه تماس قطرههای آب با حجم ۲۵µlit(رژیم متوسط)

با کمک نمونه بردار <sup>۲۷</sup> μlit، قطرههایی از آب را با دقت روی لبه مشخصی از تک تک نمونهها گذاشته و حدوداً پس از ۱۰ ثانیه با کمک یک دوربین دیجیتال عکس برداری Nikon مدل DA۱۰ تصاویری از نمای جلویی قطره روی سطح نمونه گرفته و ضبط شدند. تمام مراحل تصویر گیری در شرایط پایدار دمای ۲۵°C و فشار ۵۶۰mmHg در محیط هوا انجام گردید. پس از انتخاب بهترین تصویر برای هر نمونه، روی تصاویر بردارهای کشش مرز مشترک جامد-مایع، جامد-بخار و مايع- بخار (خط مماس بر سطح قطره) رسم شدند (شکل (۱)). سپس با استفاده از نرمافزار فوتوشاپ، نقّالهای با دقت ۱ درجه روی این تصاویر قرار گرفته و بدین وسیله زوایای تماس مشخص و اندازه گیری شدند. برای افزایش دقت، پس از هر بار اندازه گیری تمامی نمونه ها مشابه قبل مجدداً شسته مي شدند. پس از خشک کردن نمونهها با کمک خشک کن، فرآیند تصویر گیری برای چهار بار تکرار شد. با اندازه گیری مقادیر h (ارتفاع) و a (شعاع) قطرهها از تصویرشان با کمک خط کش میلیمتری در هر چهار بار تکرار و جایگذاری آنها به انضمام مقادیر مشخص γ و ρ برای آب و شتاب ثقل g محیط در معادله (۴)، زاویه تماس تک تک نمونه ها برای قطرهی ۲۵ µlit از روش معادلات اکسترند و مون نيز محاسبه گرديد.

## ۲-۵-۲- اندازه گیری زاویه تماس قطرههای آب با حجم ۱µlit(رژیم کوچک)

با کمک سرنگ مویرگی، قطرههای خیلی کوچکی از آب با حجم ۱µlit با دقت روی لبه انتخابی تک تک نمونهها گذاشته شد. دیگر مراحل اندازه گیری زاویه تماس قطرهها در این

رژیم مشابه رژیم متوسط انجام گردید به جز اینکه به دلیل کوچک بودن قطرات، برای تصویر گیری مناسب از دوربین دیجیتال عکس برداری Nikon مدل ۲۸۱۰ با لنز ماکرو استفاده شد و اندازه گیری ها برای سه بار تکرار گردید. با اندازه گیری مقادیر h (ارتفاع) و a (شعاع) قطره ها از تصویر شان در هر سه بار تکرار و جایگذاری آنها در معادله (۲) زاویه تماس این قطره نیز از روش معادلات اکسترند و مون برای تک تک

# ۳- نتایج و بحث

۳-۱- سیما سنجی و ریختشناسی سطح

با استفاده از میکروسکوپ متالورژی و نصب دوربین دیجیتال در پشت چشمی آن، تصاویری از سطح تک تک نمونهها برای مشاهده و اندازه گیری زاویهی میکروشیارها گرفته شد. شکل (۲) این تصاویر را که در بزرگنمایی ۲۰ برابر گرفته شده است نشان میدهد. با استفاده از نرمافزار فو توشاپ، نقّالهای با دقت ۱ درجه روی این تصاویر قرار گرفته و بدین ترتیب زاویه میکروشیارها اندازه گیری شد. شکل (۲) نشان میدهد که الگوی میکروشیارها ی تک تک نمونهها دقیقاً منطبق بر نام گذاری جدول (۱) است. برای ریخت شناسی میکروشیارها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی تصاویری از سطح آنها در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر گرفته شد که شکل (۳) این تصاویر را به تفکیک نمونه ها نشان می دهد. همچنین برای اندازه گیری پهنا، ارتفاع و جدایی میکروشیارها نیز تصاویری در بزرگنمایی ۴۳۰، ۴۳۵ و ۶۵۰ برابر گرفته شد. شکل (۴) این تصاویر را نشان میدهد. در شکل های (۲) و (۳) مشاهده می شود که میکروشیارها کاملاً پیوسته، منظم و یکنواخت میباشند. همچنین در شکل (۴) دیده می شود که پهنای میکروشیار ۵۰µm و ارتفاع آن حدود ۱۲ µm است که مناسب

فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، پاییز ۱۴۰۲، شماره ۲

بىراى تىرويج جىذب، چسىبيدن، مهـاجرت، تكثيـر و تمـايز سلول.هاى استخواني است.

#### ۳-۲- اندازه گیری زاویهی تماس

از آنجایی که قطره های آب مورد استفاده برای اندازه گیری زاویه تماس تقریباً دارای حجم μlit در رژیم کوچک و pt ۲۵ μlit در رژیم متوسط میباشند لذا با فرض کروی بودن، قطر تقریبی آنها به ترتیب حدود mm ۱/۵۶ و ۴/۶۰ mm خواهد شد که در هر دو مورد بسیار بزرگتر از سه برابر ابعاد بافت سطحی نمونه ها میباشد و از این لحاظ طبق نتایج پژوهش های صورت گرفته اندازه این بافت ها تأثیر کمی بر مشخصات نوری قطره گذاشته و داده های به دست آمده برای زاویه تماس هنوز مفید و قابل استفاده میباشند [۳–۵].



شکل (۲): تصاویر سطح نمونهها که با دوربین دیجیتال از پشت چشمی میکروسکوپ متالورژی در بزرگنمایی ۲۰ برابر گرفته شده است: الف) S۱ نمونه شاهد (صیقلی و بدون بافت) و به ترتیب میکروشیارها با زاویه، ب) S۲(صفر درجه یا موازی)، پ) S۲(۵۲ درجه)، ت) S۴(۳۰ درجه)، ج) S۵(۵۶ درجه)، چ) S۶(۰۶ درجه)، ح) S۷(۵۷ درجه) و خ) S۸(۰۹ درجه یا متعامد).



شکل (۳): نمایی نزدیک از سطح نمونه های دارای بافت لیزری که توسط دستگاه SEM در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر برای ریخت شناسی میکروشیارها گرفته شده است. تصاویر به ترتیب مربوط به میکروشیارها با زاویه: الف) صفر درجه یا موازی (S۲)، ب) ۱۵ درجه (S۳)، پ) ۳۰ درجه (S۲)، ت) ۲۵ درجه (S۵)، ج) ۶۰ درجه (S۶)، چ، ۷۵ درجه (S۷) و ح، ۹۰ درجه (S۸) می باشند.

جدول (۱): مشخصات نمونهها به همراه الكوى ميكروشيارها، مقادير چهار بار اندازه گيرى شدهى زاويه تماس از روش ضبط و آناليز تصوير قطره (روش ۱)
به همراه مقادیر متناظر محاسبه شدهی زاویه تماس با استفاده از معادله (۴) (روش ۲) و مقدار میانگین دادههای هر دو روش برای قطرهی آب با
حجه V۵ ulit(ژ به متوسط).

C I	CV.	S.c.	CA.	66	ر ــر ــــــــــــــــــــــــــــــــ		14 E 1	
24	51	37	50	Sr	3r	۵۲ خطوط مواری	51 شاهد	تمونه
٩٠	Y۵	9.	40	۳۰	10	•	-	زاویه میکروشیارها (درجه)
	í m				Ċ	Õ	بدون شيار	الگوی میکروشیارها
۵۰	44	47	۵۵	۵.	۵۶	49	54	روش ۱ (09)
۶۳	47	۵۰	۵۵	۶.	۵۹	54	<b>۶</b> ۲	روش ۱ (0 <sub>2</sub> )°
۵١	۶.	<b>۶۴</b>	۵۲	54	58	54	۶۳	روش ۱ (0 <sub>3</sub> )°
84	۵۸	۶۳	۵۲	۵۰	۵۸	۵٩	۲.	روش ۱ ( <b>θ</b> 4)°
۵۲	٥٣	۵۶	۵۶	54	۵۹	۵۸	۶۳	روش ۱ ( <del>0</del> )
٣٧	58	٣٧	40	۴۲	٥٣	54	۵۵	روش ۲ (θ1)°
۵۳	47	۵۷	۵۲	۵۲	۲١	۳۵	٣٩	روش ۲ ( <i>θ</i> 2)°
۳۸	٣٣	۴۴	۴۸	٣٩	۶.	54	۵۰	روش ۲ (0ع)°
44	۴۳	۴۳	۵۴	۳۶	۳۶	۳۵	47	روش ۲ (وم) (∂₄)
۴۳	40	40	۵١	47	۵۵	۴٩	۴۸	روش ۲ ( <del>0</del> )





شکل (۴): تصاویر SEM از سطح نمونهها که اندازه پهنا، ارتفاع و جدایی میکروشیارها را نشان میدهد.

## ۳-۲-۱- اندازه گیری زاویه تماس قطرهها با حجم ۲۵µlit (رژیم متوسط)

شکل (۵) تصاویر انتخابی از نیمرخ قطرات آب با حجم ۲۵µlit روی سطح نمونه ها را نشان می دهد که با رسم بر دار کشش های مرز مشتر ک لایه ها، زاویه θ مشخص و با نرم افزار فوتوشاپ با دقت یک درجه اندازه گیری شده است. این روش باهدف افزایش دقت اندازه گیری، برای هر نمونه، چهار بار تکرار گردید. همچنین با استفاده از تصویر قطره و مقیاس بندی مناسب آن، مقادیر h و a اندازه گیری

شدند. با جایگذاری این مقادیر به همراه مقدار مشخص  $VT/V0 mj/m^{1}$  انرژی آزاد سطح آب در دمای  $^{\circ}C$   $^{\circ}C$ بر اساس مرجع [۱۸])، مقدار چگالی آب (<u>۲۹۸ ۴۹</u>۸) و شتاب ثقل محیط (<u>m</u> ۹/۸۱) (بر اساس مرجع [۹]) در معادله (۴)، زاویه تماس از روش اکسترند و مون برای تک تک نمونه ها محاسبه گردید. در ستون های چهارم تا هشتم جدول (۱) مقادیر چهار بار اندازه گیری شدهی زاویه تماس از روش ضبط و آنالیز تصویر قطره به همراه مقدار میانگین آنها و در ستونهای نهم تا سیزدهم، مقدار محاسبه شدهی زاویه تماس قطرهها از روی ابعادشان با استفاده از معادله (۴) به همراه مقدار میانگین آنها، به تفکیک نمونه ها برای قطره ۲۵ µlit آورده شده است. بررسی دادههای جدول (۱) نشان میده.د که مقدار زاویه تماس نمونه شاهد (اندازه گیری شده از روش آنالیز تصویر قطره) با مقدار بیان شده در اکثر مراجع (تقريباً ۶۵ درجه) مطابقت خوبي دارد. در عين حال ديده می شود که مقدار میانگین زاویه تماس اندازه گیری شـده (از هر دو روش) برای نمونه های مختلف، متغیر است یعنی می توان گفت که زاویه تماس اندازه گیری شده برای قطره

انال ۲۵ به زاویه میکروشیارها وابسته است. البته حداکثر میزان تغییرات در روش اول حدود ۱۸ درصد است که این میزان برای روش دوم حدود ۳۰ درصد میباشد. مشاهده می شود که کمترین زاویه تماس (بهترین خاصیت ترشوندگی) در زاویههای ۳۰ و ۷۵ درجه میکروشیارها رخ می دهد. چون با تغییر زاویه خطوط متقاطع نسبت قطر قطره بهاندازه ی پهنا، ارتفاع و جدایی ستونهای سطحی تغییر می کند لذا زاویه تماس اندازه گیری شده نوعی وابستگی به زاویه خطوط کندگی سطحی در الگوهای گوناگون نشان داده است و این با نتایج پژوهش گو کبرک از چلیک و همکارانش مبنی بر اینکه در رفتار درشت مقیاس اگر نسبت قطر قطره بهاندازه ناهمگنی سطح نمونه (ابعاد بافت سطحی) نابت باشد، در این صورت تغییرات زاویه تماس مستقل از اندازه قطره و الگوی سطحی میباشد، مطابقت دارد [۳].

## ۳-۲-۲- اندازه گیری زاویه تماس قطرهها با حجم ۱µlit (رژیم کوچک)

شکل (۶) تصاویر انتخابی از نیمرخ قطرات آب با حجم µlit ۱ روی سطح نمونه ها را نشان می دهد که با رسم بردار کشش های مرز مشترک لایه ها، زاویه 🖯 مشخص و با نرمافزار فوتوشاپ با دقت یک درجه اندازه گیری شده است. این روش باهدف افزایش دقت اندازه گیری، برای هـر نمونه، سه بار تکرار گردید. در این حجم نیز با استفاده از تصویر قطره و مقیاس بندی مناسب آن، مقادیر h و a اندازه گیری شدند. با جایگذاری این اعداد در معادله (۲) زاویه تماس از روش اکسترند و مون نیز محاسبه گردیـد. در ستون های دوم تا پنجم جدول (۲) مقادیر سه بار اندازه گیری شدهی زاویه تماس از روش ضبط و آنالیز تصویر قطره به همراه مقدار میانگین آنها و در ستون های ششم تا نهم آن، مقدار محاسبه شدهی زاویه تماس قطرهها از روی ابعادشان با استفاده از معادله (۲) به همراه مقدار میانگین آنها، به تفکیک نمونه ها برای قطره ۱µlit آورده شده است. مرور داده های جدول (۲) در روش اول نشان دهنده ی تساوی تمامی مقادیر اندازه گیری شدهی زاویه تماس برای قطرههای آب با حجم µlit (رژیم کوچک)(با خطای

کمتر از ۲/۸ درصد) میباشد. این تساوی بیانگر عدم وابستگی زاویه تماس به زاویه میکروشیارها در این حجم است که رفتاری متفاوت با رفتار زاویه تماس برای قطرههای آب با حجم ۲۵µالا میباشد. به عبارتی با این حجم قطره نمی توان بهترین زاویه میکروشیارها را از لحاظ زاویه تماس تعیین نمود. مقادیر میانگین دادههای روش دوم نیز با تقریب خوبی (خطای کمتر از ۱۷ درصد) با مقادیر میانگین روش اول نزدیک هستند که میتواند تأییدی مجدد بر عدم وابستگی گفته شده باشد.



شکل (۵): تصاویری از نیمرخ قطرات آب با حجم ۲۵µ۱۱ (رژیم متوسط) روی سطح نمونهها که با نرمافزار فوتوشاپ، زاویه تماس اندازه گیری شد.



شکل (۶): تصاویری از نیمرخ قطرات آب با حجم μlit (رژیم کو چک) روی سطح نمونهها که با نرمافزار فوتوشاپ، زاویه تماس اندازه-گیری شد.

جدول (۲): مقادیر سه بار اندازه گیری شدهی زاویه تماس از روش ضبط و آنالیز تصویر قطره (روش ۱) به همراه مقادیر متناظر محاسبه شدهی زاویه تماس با استفاده از معادله (۲) (روش ۲) به علاوه مقدار میانگین دادههای هر دو روش برای قطرهی آب با حجم ۱ µll ۱ (رژیم

				ك).	کوچ			
S٨	SY	S۶	S۵	S۴	S٣	S٢	S١	نمونه
40	44	44	44	40	44	44	40	روش ۱ ( <b>θ</b> 1)°
40	40	40	40	49	49	40	40	روش ۱ ( <b>θ</b> 2)°
40	40	40	40	40	40	40	40	روش ۱ ( <b>0</b> 3)
40	40	40	40	49	49	40	40	روش ۱ °( <del>0</del> )
٥٠	۶.	۴۳	49	۶.	54	49	40	روش ۲ (({{\theta_1
۵۵	54	٣٩	٥٣	۳۸	٣٣	41	54	روش ۲ ( <b>θ</b> 2)°
47	47	47	49	۵۵	٣٢	۵١	4.	روش ۲ (({{\theta}_3
49	٥٢	۴۳	47	۵١	۴۳	49	49	روش ۲ °( <del>0</del> )

۳-۳- **تأثیر سایر ویژگیهای سطح روی زاویه** تماس شکل (۷) نمایی بزرگ شده از ستونهای بافت سطحی را نشان میدهد که در آن کمیتهای a، b و h مشخص

فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، پاییز ۱۴۰۲، شماره ۲

شدهاند (این ساختار شبیه بافت سطحی نمونه SA در این پژوهش است). با استفاده از تصاویر شکل (۵) و (۶) کمیتهای ارتفاع (h)، پهنا (a) و جدایی (b) ستونهای بافت سطحی نمونهها اندازه گیری شدند (جدول (۳)). بهمنظور تجزیه، تحلیل و تعیین مدل ترمودینامیکی نمونهها بهمنظور تجزیه، تحلیل و تعیین مدل ترمودینامیکی نمونهها (۶) و (۸) کمیات r و f برای نمونهها محاسبه گردید. سپس (مندرج در جداول (۱) و (۲)) در معادلات (۵) و (۷) مندرج در جداول (۱) و (۲)) در معادلات (۵) و (۷) کسینوس زوایای ونزل و کسی برای نمونهها در هر دو حجم قطره تعیین گردید و این مقادیر با کسینوس میانگین زوایای تماس اندازه گیری شده هر نمونه مقایسه و خطاگیری شدند.



شکل (۷): نمایی بزرگ شده از ستونهای بافت سطحی یکی از نمونهها که در آن کمیتهای پهنا (a)، جدایی (b) و ارتفاع ستونها (h) مشخص شدهاند.

### ۳-۳-۱- بررسی مدل کلاسیکی ترشوندگی قطره ۲۵μlit (رژیم متوسط)

به منظور تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی تأثیر الگوهای بافت سطحی روی ترشوندگی نمونه ها (تعیین مدل کلاسیکی ترشوندگی آنها)، با جایگذاری r و f نمونه ها به همراه کسینوس میانگین زاویه تماس نمونه شاهد اندازه گیری شده را رس ۱ (زاویه تماس سطح صاف ( $\theta$ ) در روش ۱ که آن کسینوس میانگین زاویه تماس نمونه شاهد اندازه گیری شده از روش ۲ (زاویه تماس سطح صاف ( $\theta$ ) در روش ۲ که آن کسینوس میانگین زاویه تماس نمونه شاهد اندازه گیری شده را رس ۲ (زاویه تماس سطح صاف ( $\theta$ ) در روش ۲ که آن میاد روش ۲ (زاویه تماس سطح صاف ( $\theta$ ) در روش ۲ که آن را را  $\overline{\gamma}, \overline{\beta}$  نامیده و طبق جدول (۱) مقدار ۸۴ درجه است) در معادله های (۵) و (۷) به ترتیب کسینوس های زاویه ونزل از هر دو روش ( $\overline{\gamma}, \overline{\rho}$ ) Cos  $\theta(W)$ 

او کسینوسهای زاویه کسی از هر دو روش (Cos heta(W)۲= + (f-1)  $e^{-1} \cos\theta(CB) = f\cos\theta(-1)$  + (f-1)) ردیدند. همچنین با ( $\cos\theta(\mathrm{CB})$ ۲=f $\cos\overline{ heta_{.\,\mathrm{Y}}}$ استفاده از مقادیر میانگین زاویه تماس سایر نمونهها اندازه گیری شده از روش ۱ (که آن را  $\overline{ heta}_{1}$  مینامیم) و مقادیر میانگین زاویه تماس سایر نمونه ها اندازه گیری شده از روش ۲ (که آن را  $\overline{ heta_Y}$  مینامیم) (همگی مندرج در جدول (۱)) کسینوس این زوایا تعیین و درصد اختلاف آنها با کسینوس زوایای ونزل و کسی روش مربوطه محاسبه شد. در جدول (۳) این مقادیر برای قطره ۲۵ µlit آورده شده  $\cos \overline{\theta_1}$  است. از بررسی درصد اختلاف ۱ (W)  $\cos \theta$  با و  $\cos \theta$  (W)۲ با  $\cos \theta$  (جدول (۳)) مشاهده می شود  $\cos \theta$ که برای ۹ مورد از نمونهها این خطا مساوی و یا کمتر از ۱۰ درصد و برای سایر نمونه ها نیز حداکثر ۲۵ درصد است. درصورتی که درصد اختلاف  $\cos \theta$ (CB) با  $\cos \theta$  و با  $\overline{\theta_{r}}$  (۳)) حداقل ۱۰۰ و Cos  $\overline{\theta_{r}}$  با  $\overline{\Theta_{r}}$ حداکثر تا ۱۹۸۹ درصد نیز میرسد. در شکل (۸) نمودار ،Cos  $\overline{\theta_1}$  ،Cos  $\theta(W)$ ۲ ،Cos  $\theta(W)$ ۱ خطی توابع ۲ μlit و Cos  $\theta$ (CB)، د Cos  $\theta$ (CB)، برای قطره Cos  $\overline{\theta}_{\Upsilon}$ 

۲۵ و بر اساس نمونه های مختلف ترسیم شده است. شکل (۸) نشان می دهد که برای قطره با از ۲۵ رفتار توابع  $\overline{\theta_1}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_1}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_1}$   $\overline{\theta_2}$   $\overline{\theta_2}$ 

۳-۳-۲- بررسی مدل کلاسیکی ترشوند گی قطـره μlit ا(رژیم کوچک)

برای قطره آب با حجم ۱ µlit نیز مشابه قطره ۲۵ µlit، با جایگذاری مقادیر r و f نمونهها به همراه کسینوس زوایای (۵) =  $\overline{\theta_{\cdot,\gamma}} = \overline{\theta_{\cdot,\gamma}} = \overline{\theta_{\cdot,\gamma}}$ و (۷) به ترتیب کسینوس زوایای ونزل و کسی از هر دو روش محاسبه گردیدند. همچنین با استفاده از مقادیر میانگین زاویه تماس سایر نمونهها اندازه گیری شده از (روش های ۱ و ۲ (که آنها را به ترتیب  $\overline{\theta_1}$  و  $\overline{\theta_7}$  نامیدیم) (جدول (۲)) کسینوس این زوایا تعیین و درصد اختلاف آنها با کسینوس زوایای ونزل و کسی روش مربوطه محاسبه شد. در جدول (۴) این مقادیر برای قطره ۱ µlit آورده شده  $\cos \overline{\theta_1}$  است. از بررسی درصد اختلاف (W)  $\cos \theta$  با و ۲ ( $\Theta$  (W) مشاهده می شود  $\cos \theta$  ( $\Theta$ )) مشاهده می شود  $\cos \theta$ که برای ۶ مورد از نمونهها این خطا مساوی یا کمتر از ۱۱ درصد و برای سایر نمونه ها نیز حداکثر ۲۱ درصد است. درصورتی که درصد اختلاف ۲۵  $\theta(CB)$  با  $\overline{\theta_1}$  و و ۲۵ و د اقل ۱۳۳ و Cos  $\overline{\theta_{Y}}$  د دول (۴)) حداقل ۱۳۳ و Cos  $\theta$ حداکثر تا ۱۳۸۰ درصد نیز می رسد.



 $\cos \theta$  ،  $\cos \overline{\theta}_{Y}$  ،  $\cos \overline{\theta}_{1}$  تغییرات توابع ،  $\overline{\theta}_{1}$  ،  $\cos \theta$  ،  $\cos \theta$  (P)): نمودار خطی تغییرات توابع  $\cos \theta$  (CB) و  $\cos \theta$  (CB)،  $\cos \theta$  (W)) (W))  $\cos \theta$  (W)) (W)) قطره  $\sin \theta$  (CB) بر اساس نمونه های مختلف.



 $\cos \theta$ ،  $\cos \overline{\theta_{\gamma}}$ ،  $\cos \overline{\theta_{\gamma}}$ ،  $\cos \overline{\theta_{\gamma}}$ ،  $\cos \overline{\theta_{\gamma}}$ ،  $\cos \theta$ ،  $\cos \theta$ ،  $\cos \theta$ ،  $\cos \theta$  (CB)۱)،  $\cos \theta$  (W)۲، (W)۱) قطره  $\cos \theta$ ۲, برای مونههای مختلف.

	•	•	•	••••••			-	
S٨	SY	S۶	S۵	S۴	S٣	S٢	S١	نمونه
180	10.	10.	10.	10.	140	99 9	-	a(µm)
۲۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۳۳/۳	-	<b>b</b> (μ <b>m</b> )
12/2	17/4	۱۲/۳	۱۲/۳	17/4	13/1	1 3 1	-	h(μm)
1/14	1/11	1/18	1/17	1/17	1/17	1/18	-	r
•/94	•/¥۵	•/¥۵	•/¥۵	•/¥۵	•/٧٢	•/99	-	f
•/۵•٩	•/۵۱•	•/۵۱•	•/۵١•	•/۵۱•	•/۵١٣	•/۵٣٣	-	$\cos \theta(\mathbf{W})$ )
•/٧۵١	•/٧۵٢	•/401	•/401	•/٧۵٢	•/٧۵٧	•/844	-	$\cos \theta(W)$ Y
_•/• <b>૧</b> ٩	•/•٩	•/•٩	•/•٩	•/•٩	•/•44	-•/•۴	-	$\cos \theta(CB)$
•/•۳۵	•/٢٥٢	•/٢۵٢	•/٢۵٢	•/٢۵٢	•/٢•٢	•/1•1	-	$\cos \theta(CB)$ Y
•/۵۴۵	•/9•4	•/۵۵٩	•/۵۵۹	•/۵٨٨	•/۵۱۵	•/۵۳•	-	$\cos\overline{\theta_1}$
•/٧٣١	•/٧•٧	•/٧•1	•/989	•/٧٣٧	•/599	•/909	-	$\cos\overline{\theta_2}$
۲	۱۸	1.	۱۰	10	١	۲	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_{ ext{W}_1}}$ درصد اختلاف $\cos oldsymbol{ heta}_{ ext{W}_1}$ درصد ا
٣	۶	Y	18	۲	۲۵	۲۲	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_2}$ درصد اختلاف $\cos oldsymbol{ heta}_{ m Wr}$ با
۶۵۰	589	551	511	۵۵۳	1	1440	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_{ ext{CB}}}$ درصد اختلاف $\cos oldsymbol{ heta}_{ ext{CB}}$ با
1929	141	144	10.	195	۱۸۰	549	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_{ ext{CBT}}}$ درصد اختلاف $\cos  heta_{ ext{CBT}}$

جدول (۳): کمیات اندازه گیری و محاسبه شدهی قطره ۲۵ µlit ۲۵ برای بررسی مدل های ونزل و کسی.

S٨	SY	S۶	S۵	S۴	S٣	S٢	S١	نمونه
180	10.	10.	10.	10.	140	99 9	-	a(μm)
۲۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۳۳/۳	-	b(μm)
17/2	17/4	۱۲/۳	۱۲/۳	17/4	13/1	13/1	-	h(μm)
1/18	1/18	1/18	1/18	1/18	1/17	1/18	-	r
•/94	•/Y۵	•/٧۵	•/Y۵	•/¥۵	•/YY	• 99	-	f
•/٧٩٣	•/٣٩٥	•/٧٩۴	•/٧٩۴	•/٣٩٥	•/*••	•/892	-	$\cos \theta(\mathbf{W})$ )
•/٧۶٧	•/٧۶٩	•/٧۶٨	•/٧۶٨	•/٧۶٩	•/٧٧۴	•/893	-	$\cos \theta(W)$ Y
•/•۵٨	•/۲٨•	•/٣٨•	•/78•	•/۲٨•	•/779	•/177	-	$\cos \theta(CB)$
•/•44	•/193	•/٢۶٣	•/193	•/193	•/117	•/111	-	$\cos \theta(CB)$ ۲
•/٧•٧	•/٧•٧	•/٧•٧	•/٧•٧	•/990	•/990	•/٧•٧	-	$\cos\overline{\theta_1}$
•/901	•/918	•/٧٢٩	•/99•	•/988	•/٧٢۵	•/989	-	$\cos\overline{\theta_2}$
11	11	11	11	۱۳	۱۳	۲۱	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_1}$ درصد اختلاف $\cos oldsymbol{ heta}_{ m W_1}$ درصد ا
10	۲.	۵	14	۱٩	۶	۲۱	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_2}$ درصد اختلاف $\mathbf{ heta}_{\mathrm{Wr}}$ درصد اختلاف
1119	101	101	101	148	۲۰۳	499	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_1}$ درصد اختلاف $\cos oldsymbol{ heta}_{ ext{CB}_1}$ درصد اختلاف
1880	١٣٣	177	101	157	242	<b>۵۱</b> ۸	-	$\cos \overline{oldsymbol{ heta}_2}$ درصد اختلاف $\cos oldsymbol{ heta}_{ ext{CBr}}$ درصد ا

فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، پاییز ۱۴۰۲، شماره ۲

۴- نتیجه گیری

[ $\uparrow$ ] Y. Yan, E. Chibowski & A. Szczes, "Surface Properties of Ti $\uparrow$ Al $\notin$ V Alloy part I: Surface Roughness and Apparent Surface Free Energy", Materials Science and Engineering C, vol.  $\vee$ , pp.  $\uparrow$ . $\vee$ . $\uparrow$ . $\vee$ .

[<sup>r</sup>] K. Y. Law & H. Zhao, "Surface Wetting: Characterization, Contact Angle, and Fundamentals", Springer, <sup>Y</sup> • <sup>Y</sup> <sup>J</sup>.

[ $\xi$ ] A. Marmur & E. Bittoun, "When Wenzel and Cassie are right: reconciling local and global considerations", Langmuir, vol. Yo, pp. 1777-1741, Y...9.

[°] A. Marmur, "Soft contact: measurement and interpretation of contact angles", Soft Matter, vol.  $(\gamma, pp, \gamma, \gamma, \gamma, \gamma)$ .

[<sup>1</sup>] A. Amirfazli, D. Y. Kwok, J. Gaydos & A. W. Neumann, "Line tension measurements through drop size dependence of contact angle", Colloid Interface Science, vol. <sup>Y</sup> · °, pp. <sup>1</sup>-<sup>1</sup>), <sup>1</sup>94A.

[V] A. Marmur, "Line tension and the intrinsic contact angle in solid-liquid-fluid systems". Colloid Interface Science, vol. 147, pp. £77-£77, 199V.

[ $^{\Lambda}$ ] S. Kranias, "Effect of drop volume on static contact angles", Technical note  $^{\gamma}$  e: Kruss GmbH, France,  $^{\gamma}$   $\cdot \cdot \cdot$ .

[ $\P$ ] C. W. Extrand & S. I. Moon, "When sessile drop Are No longer small: transitions from spherical to fully flattened", Langmuir, vol.  $\Upsilon^{\circ}$ , pp.  $\Upsilon^{\circ}$ , pp.  $\Upsilon^{\circ}$ ,  $\Upsilon^{\circ}$ ,

[ $\cdot$ ] C. E. Cansoy, "The effect of drop size on contract angle measurements of superhydrophobic surfaces", RSC Adv, vol.  $\xi$ , pp.  $119V-17 \cdot r$ ,  $7 \cdot 1\xi$ .

[1] T. Zhao & L. Jiang, "Contact angle measurement of natural materials", Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, vol. 171, pp.  $rr\epsilon.rr$ , r.1A.

[17] J. W. Drelich, "Contact angles: From past mistakes to new developments through liquid-solid adhesion measurements", Advances in Colloid and Interface Science, vol. 77, pp. 1-15, 7+19.

 $[1^{\circ}]$  H. Gokberk Ozcelik, E. Satiroglu, & M. Barisik, "Size Dependent Influence of Contact Line Pinning on Wetting of Nano-textured/patterned Silica Surfaces", Nanoscale, vol. (1, pp. 1-7), (1, 7).

در این پژوهش برای قطرات آب با حجم lit ا(رژیم کوچک) سه بار و برای حجم ۲۵ µlit (رژیم متوسط) چهار بار زاویه تماس با دو روش ۱) ضبط و آنالیز تصویر قطره و ۲) بکارگیری معادلات اکسترند و مون برای سطوحی از جنس آلياژ Ti۶Al۴۷ که توسط ليزر يالسي Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ nm وطول پالس ۱۷۰ ns بافت سطحی لیزری به صورت خطوط متقاطع با زاویه های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه روی آن ایجاد شده بود، اندازه گیری شد. نتیجه گیری شد که زاویهی تماس اندازه گیری شده از هر دو روش برای قطرات آب با حجم ulit (رژیم كوچك)، تقريباً ثابت و مستقل از زاويه خطوط متقاطع بافت سطحي مي باشد. ولي زاويه تماس قطرات آب با حجم lit ۲۵ (رژیم متوسط)، متغیر بوده و به زاویه ی خطوط متقاطع بافت سطحي وابسته است. با اندازه گیري سه کميت a(پهنا)، b(جدایی) و h ارتفاع ستون های بافت سطحی نمونهها، محاسبه دو فاکتور r و f، جایگذاری آنها در معادلات ونزل و کسی و رسم نمودارهای مربوطه بر اساس نمونه های این تحقیق، دیده شد که با تقریب نسبتاً خوبی مدل کلاسیکی ترشوندگی نمونهها، برای هر دو قطره µlit ۲۵ و ulit ، مدل ونزل می باشد یعنی قطره مایع همه جای سطح زبر زیرین خود را تر می کند. در این تحقیق نمونههای مكعب مستطبل Ti۶Al۴۷ مجاي كاشتني واقعي، شرايط آزمایشگاهی بیرون بدن به جای درون آن و میکروشیارها ی متقاطع با اختلاف زاویه ای ۱۵ درجه در بازه ۲ تا ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به نتایج بهدست آمده مي توان ميناي بررسي هاي آتي را در حوزه هاي بکار گيري کاشتنی های واقعی، شرایط درون بدن، میکروشیارها ی متقاطع با اختلاف زاویه ای کمتر از ۱۵ درجه، زیست فعالی و رفتار سلولي بافت پیشنهادي قرار داد.

۵- مراجع

[<sup>1</sup>] Q. Zheng, L. Mao, Y. Shi, W. Fu & Y. Hu, "Biocompatibility of Ti<sup>1</sup>Al<sup>£</sup>V Titanium Alloy Implants with Laser Microgrooved Surfaces", Materials Thechnology, vol. <sup>oo</sup>, pp. <sup>1</sup>-<sup>1</sup>·, <sup>r</sup>·<sup>r</sup>·. ۶- پینوشت

- [1] Implant
- [Y] Wettability
- [**\***] Topography
- [۴] Kranias
- [] Perfluoroalkoxy Copolymer
- [9] Extrand & Moon
- [V] Cansoy
- [A] Zhao & Jiang
- [4] Drelich
- [\.] Gokberk Ozcelik et al
- [11] Wenzel's Model
- [*N*] Noncomposite State
- [17] Cassie Baxter model
- [14] Nonwettability
- [10] Composite State
- [19] Surface Roughness Factor
- [NV] Wenzel's Roughness Ratio
- [1A] Solid-Area Fraction
- [19] Cassie's Solid Fraction
- [Y•] Li & Amirfazli
- [1] Sessile Drop Contact Angle and IFT

Measurement

- [YY] Neodymium YAG
- [Y] Microgroove
- [YF] Scanning Electron Microscope
- [Y<sup>Δ</sup>] Morphology
- [Y9] Law & Zhao
- [YV] Sampler

 $[1^{\xi}]$  Gh. R. Dabbagh, S. K. Sadrnezhaad, R. Shoja Razavi, A. M. Nourbakhsh & N. Hassanzadeh Nemati, "Laser textured novel patterns on Ti<sup>T</sup>Al<sup> $\xi$ </sup>V alloy for dental implants surface improvement", Laser Applications, vol. <sup> $\gamma$ </sup>, pp. 1-1V, <sup> $\gamma$ </sup>, <sup> $\gamma$ </sup>Y.

[1°] K. T. Voisey, C. A. Scotchford, L. Martin & H. S. Gill, "Effect of Q-Switched Laser surface Texturing of Titanium on Osteoblast Cell Response", Physics Procedia, vol. °7, pp. 1177-117°, 7.15.

[1] A. Y. Fasasi, S. Mwenifumbo, N. Rahbar, J. Chen, M. Li, A. C. Beye, C. B. Arnold & W. O. Soboyejo, "Nano – Second UV Laser Processed Micro – Grooves on Ti<sup>1</sup>Al<sup>2</sup>V for Biomedical Applications", Materials Science and Engineering C, vol. <sup>1</sup>9, pp. <sup>o</sup>-1<sup>°</sup>, <sup>1</sup>.

[<sup>\V</sup>] Ch. Wang, H. Hu, Zh. Li, Y. Shen, Y. Xu, G. Zhang, X. Zeng, J. Deng, Sh. Zhao, T. Ren & Y. Zhang, "Enhanced Osseointegration of Titanium Alloy Implants with Laser Microgrooved Surface and Graphene Oxide Coating", Applied Materials & Interfaces, vol. <sup>\\\)</sup>, pp. <sup>\Vertexty</sup>. <sup>\Vertexty</sup>. <sup>\Vertexty</sup>. <sup>\Vertexty</sup>. <sup>\Vertexty</sup>.

[1^] D. Li & A. W. Neumann, "Equation of State for Interfacial Tensions of Solid-Liquid Systems", Advances in Colloid and Interface Science, vol. <sup>rq</sup>, pp. <sup>rqq</sup>-<sup>rto</sup>, <sup>rqq</sup>.

[19] R. N. Wenzel, "Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water", Industrial and Engineering Chemistry, vol. 7A, pp.9AA-995,1977.

 $[\gamma \cdot]$  - A.B.D. Cassie, S.Baxter, "Wettability of porous surfaces", Transaction of the faraday society, vol.  $\xi \cdot$ , pp.  $\circ \xi 1_{-} \circ \circ 1$ ,  $19 \xi \xi$ .

 $[\Upsilon]$  W. Li & A. Amirfazli, "Superhydrophobic Surfaces: Adhesive Strongly to Water", Advanced Materials, vol. 19, pp.  $\Gamma \xi \Upsilon 1 - \Gamma \xi \Upsilon \Upsilon$ ,  $\Upsilon \cdot \cdot \Upsilon$ .

 $[\Upsilon^{\Upsilon}]$  W. Li & A. Amirfazli, "Microtextured superhydrophobic surfaces: A thermodynamic analysis", Advances in Colloid and Interface Science, vol.  $\Upsilon^{\Upsilon}$ , pp.  $\circ$  1-7A,  $\Upsilon \cdot \cdot \vee$ .