



بررسی نیروهای بین مولکولی بافت سرطانی سر و گردن در محیط های مختلف مایع طی فرایند نانومنیپولیشن مبتنی بر میکروسکوپ نیروی اتمی

معین طاهری* | فاطمه فریدونی

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

چکیده: مطالعه درباره‌ی ساختار و بهبود خواص ذرات در ابعاد نانو از جمله کاربردهای فرایند نانومنیپولیشن بوده است. میکروسکوپ نیروی اتمی با کاربردهایی همچون تصویربرداری، جابه‌جایی، استخراج خواص مواد و استفاده در لیتوگرافی از کارآمدترین ابزار مطالعاتی در حوزه‌ی نانو به‌شمار می‌آید. در این مقاله به منظور شناخت بافت سرطانی سر و گردن و در راستای بهبود روند شناخت و درمان بیماری از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. تحقیقات صورت گرفته در محیط‌های مایع از جمله آب، اتانول، متانول و پلاسما انجام شده است. بررسی نیروهای بین مولکولی وان‌دروالس، آب پوشی و الکترواستاتیک دولایه در محیط‌های مختلف مایع از دیگر موارد مهم در این پژوهش محسوب می‌شود. در نهایت، پس از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، کمترین نیرو و زمان بحرانی که از اهداف مهم فاز نخست نانومنیپولیشن می‌باشد، به ترتیب برابر با ۰,۷۵۹ میکرونیوتن و ۰,۲۹۹ ثانیه در محیط پلاسما و بیشترین مقدار برابر با ۰,۸۲۱ میکرونیوتن و ۰,۳۴۰ ثانیه در محیط آب رخ داده است. مقادیر بالای نیروهای بین مولکولی در محیط آب از علل بالا بودن نیرو و زمان بحرانی تشخیص داده شده است.

واژگان کلیدی: بافت سرطانی سر و گردن، نانومنیپولیشن، میکروسکوپ نیروی اتمی، محیط مایع، نیروهای بین مولکولی.

m-taheri@araku.ac.ir

فرایندهای مهم در حوزه‌ی نانو برای جمع‌آوری اطلاعات درباره‌ی بیماری سرطان است. این فرایند در دو فاز حرکتی و به‌منظور شناخت رفتار بافت‌های سرطانی در مواجهه با عوامل مختلف و کمک به درمان این بیماری انجام می‌شود.

جین [۱]، پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌ی نانوفناوری را بیان کرده است. همچنین، به کاربردهای ذرات نانو در تشخیص و درمان بیماری سرطان اشاره کرده است. همچنین، عملکرد نانوذرات با قطر ۱۰۰-۵ نانومتر را با هدف اتصال به عوامل تشخیصی و

۱- مقدمه

بیماری سرطان با توجه به گستردگی در ارگان‌های مختلف بدن و درگیر کردن بافت‌های سالم در هنگام درمان با روش‌های سنتی مانند جراحی و شیمی‌درمانی، از جمله موارد مهم مورد بررسی در حوزه‌های پزشکی است. از ارگان‌های مهم درگیر با این بیماری می‌توان به سر و گردن اشاره کرد. فرایند نانومنیپولیشن با استفاده از ابزار کارآمدی به نام میکروسکوپ نیروی اتمی از جمله

درمانی بررسی کرده است. لیانگ و همکارانش [۲]، به بررسی آسیب‌های ناشی از تابش بر روی توپوگرافی سطح و خواص مکانیکی دندان پرداخته‌اند. مدول الاستیسیته، سختی نانو و ضریب اصطکاک از جمله موارد مورد بررسی در این پژوهش بوده‌اند. همچنین به اهمیت دوز پرتو درمانی در تغییرات مکانیکی در ابعاد نانو دست‌یافته‌اند.

رزید و همکارانش [۳]، به بررسی عوارض جانبی ناشی از درمان سرطان سر و گردن با استفاده از روش رادیوتراپی پرداخته‌اند. همچنین با توجه به عوارضی همچون محدودیت در خوردن و آشامیدن به بررسی سایر روش‌های نوین درمان اشاره کرده‌اند. ساهو و همکارانش [۴]، کاربردهای فناوری نانو را در حوزه‌ی پزشکی مورد بحث قرار داده‌اند. همچنین، درمان بیماری‌هایی همچون سرطان به صورت هدفمند و با کمترین عارضه‌ی جانبی پس از درمان در حوزه‌ی نانو اشاره کرده‌اند.

فوکودا و همکارانش [۵]، سیستمی مبتنی بر فرایند نانومنیپولیشن به‌منظور بررسی سیستم‌های زیستی طراحی کرده و پیرفت‌های آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. علیزاده و همکارانش [۶] مدل‌سازی‌های لازم را به روش اجزای محدود، به منظور شناخت خواص الاستیک استخوان در ابعاد نانو انجام داده‌اند. نتایج توزیع تنش و خواص الاستیک مورد تحلیل قرار گرفته و در نهایت با نتایج تحلیلی مقایسه شده‌اند. طاهری [۷]، فرایند نانومنیپولیشن ذره‌ی طلا را با در نظر گرفتن مدل‌های تماسی کروی مدل‌سازی کرده است. هرتز، جی‌کآر، دی‌ام‌تی و بی‌سی‌پی از جمله مدل‌های تماسی مورد بررسی بوده‌اند. در نهایت با بررسی‌های صورت گرفته به کم‌ترین مقدار نیرو و زمان بحرانی در فاز اول با مدل تماسی هرتز دست‌یافته است. طاهری و میرزالی [۸]، با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی به استخراج مدول یانگ بافت سرطانی سینه پرداخته‌اند. شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در فاز اول و با هدف استخراج نیرو و زمان بحرانی با در نظر گرفتن مدل‌های تماسی انجام شده است و استخراج مدول یانگ نیز در فاز دوم صورت پذیرفته است. ژی و همکارانش [۹]، نوع جدیدی از میکروسکوپ نیروی اتمی را با کاربرد در محیط هوا طراحی کرده‌اند. همچنین، روند کار در این پژوهش و محدودیت‌های دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است و فرایند نانومنیپولیشن سه‌بعدی با موفقیت انجام شده است. همچنین، با ثبت نیرو در

هنگام فرایند به اطلاعات مفیدی در زمینه‌ی نانومکانیک و نانوفیزیک دست‌یافته‌اند. صادق‌زاده و کورایم [۱۰]، با استفاده از توسعه‌ی تئوری دینامیک مولکولی به مدل‌سازی فرایند منیپولیشن خودکار با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی پرداخته‌اند. در نهایت تخریب سوزن و جنس آلومینیومی سوزن به عنوان بدترین عوام در نتایج شناسایی شده‌اند. طاهری [۱۱] با استفاده از روش آنالیز حساسیت سوبل به بررسی تأثیر فاکتورهای ورودی بر نیرو و زمان بحرانی لغزشی و غلظتی در راستاهای x و y پرداخته است. پارامترهای ورودی مورد پژوهش شامل انرژی سطحی، کارچسبندگی، مدول الاستیسیته ذره و تیرک و ضریب پواسون ذره و تیرک بوده‌اند. در نهایت مدول تیرک به عنوان اثرگذارترین پارامتر در نیروی بحرانی و ضریب پواسون تیرک به عنوان مؤثرترین پارامتر بر زمان بحرانی شناخته شده‌اند.

گور و همکارانش [۱۲]، به توسعه‌ی مدل پواسون-بولتزمن با استفاده از تئوری الکترواستاتیک دولایه پرداخته‌اند. کیلپاتریک و همکارانش [۱۳]، نیروهای هیدراتاسیون را با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها این نیرو را به عنوان تابعی از غلظت و ظرفیت یون در نظر گرفته‌اند. موراگ و همکارانش [۱۴]، به بررسی نیروی الکترواستاتیک با در نظر گرفتن میزان پی‌اچ در بین سطوح سیلیس پرداخته‌اند. بررسی‌های صورت گرفته توسط میکروسکوپ نیروی اتمی انجام شده است. کورایم و همکارانش [۱۵]، نانومنیپولیشن ذرات طلا، پلاکت و مخمر را در محیط‌های مختلف از جمله محیط‌های گازی، آبی، الکلی و پلاسما شبیه‌سازی کرده‌اند. هدف از این شبیه‌سازی رسیدن به نیرو و زمان بحرانی در فاز نخست نانومنیپولیشن بوده است. طاهری [۱۶]، منیپولیشن ذرات پلاکت و دی‌ان‌ای را به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی کرده است. معادلات تماسی جی‌کآر و همچنین معادلات سختی تیرک میکروسکوپ نیروی اتمی مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت نیرو و زمان بحرانی برای ذرات زیستی نام برده شده در راستای محورهای مختلف محاسبه شده است.

نیروهای بین مولکولی در مطالعه‌ی ذرات زیستی، معادلات موجود در این نیروها مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته شده است.

۲-۱- مدل سازی نیروهای بین مولکولی

با در نظر گرفتن ذرات در ابعاد نانو، نیروهای بین مولکولی اهمیت بیشتری از نیروی جاذبه پیدا می‌کنند. بدین منظور در این بخش به مطالعه‌ی معادلات نیروهای بین مولکولی هنگام قرارگیری ذرات زیستی همچون بافت سرطانی سر و گردن در محیط‌های مختلف مایع پرداخته شده است. با توجه به اهمیت محیط‌هایی همچون آب، متانول، اتانول و پلاسما در کاربردهای زیستی، در این پژوهش این چهار محیط مبنای کار قرار گرفته‌اند.

۲-۱-۱- نیروی وان دروالس

نیروی وان دروالس [۲۱] نیروی جاذبه بین مولکول‌های غیر مشابه است که مقدار آن در رابطه‌ی (۱) آورده شده است. در معادله‌ی (۱) پارامترهای D فاصله بین رأس ابزار و سطح، R_t شعاع رأس کروی سوزن و H ثابت همکر تعریف شده‌اند.

$$F_{vdw}(D) = -\frac{H R_t}{6 D^2} \quad (1)$$

ثابت همکر از معادله‌ی (۲) به دست آمده است. با توجه به مقدار اندک قسمت دوم معادله، از روابط حذف شده است.

$$H_{total} = H_{v=0} + H_{v>0} \approx \frac{3}{4} kT \left(\frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_1 + \epsilon_3} \right) \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\epsilon_2 + \epsilon_3} \right) + \frac{3h\nu_e}{8\sqrt{2}} \frac{(n_1^2 - n_3^2)(n_2^2 - n_3^2)}{\left[(n_1^2 + n_3^2)^{\frac{1}{2}} (n_2^2 + n_3^2)^{\frac{1}{2}} \left((n_1^2 + n_3^2)^{\frac{1}{2}} + (n_2^2 + n_3^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right]} \approx \frac{3}{4} kT \left(\frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_1 + \epsilon_3} \right) \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\epsilon_2 + \epsilon_3} \right) \quad (2)$$

۲-۱-۲- نیروی الکترواستاتیک دولایه

از دیگر نیروهای بین مولکولی مورد بحث نیروی الکترواستاتیک دولایه [۱۴] است که روابط آن در معادله‌ی (۳) آورده شده است. σ_T و σ_S به ترتیب برابر شار نمونه و شار سر سوزن تعریف

طاهری [۱۷]، نیرو و زمان بحرانی فرایند مینیولیشن بافت سرطانی معده با در نظر گرفتن نیروهای اصطکاکی با مدل‌های مختلف را مورد بررسی قرار داده است. بادیزی و ملکی [۱۸] به بررسی و مقایسه ویژگی ساختاری، ریخت‌شناسی، مغناطیسی و نوری نانولایه و نانوذرات فریت کبالت با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی پرداخته‌اند.

کوریام و همکارانش [۱۹]، آنالیز حساسیت مینیولیشن دوعدی با استفاده از مدل اصطکاکی لاگره توسط میکروسکوپ نیروی اتمی را بررسی نموده و پارامترهای حساس و غیرحساس در این فرایند را شناسایی نموده‌اند. خلیلی و همکارانش [۲۰] به مطالعه‌ی مینیولیشن نانوذره دی‌ان‌ای با بهره‌گیری از میکروسکوپ نیروی اتمی برپایه‌ی روش المان محدود با استفاده از تئوری‌های مکانیک تماس پرداخته‌اند.

همانطور که از مطالعات پیشین مشخص شد، کاربرد میکروسکوپ نیروی اتمی در حوزه‌ی پزشکی غیرقابل چشم‌پوشی است. همچنین به برخی از کاربردها در استخراج خواص ساختاری و مکانیکی در بافت‌های سینه، استخوان و سایر موارد اشاره شده است. همچنین، پارامترهای حائز اهمیت در طی روند استخراج نیز مشخص شده است. پس، توجه به مطالعات مختصر راجع به بافت سرطانی سر و گردن، این مقاله مدل سازی فرایند نانومینیولیشن بافت سرطانی سر و گردن را در فاز نخست نانومینیولیشن مورد مطالعه قرار داده است. بدین منظور برای اولین بار نمونه‌ی آزمایشگاهی بافت سرطانی سر و گردن با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس شبیه‌سازی‌های لازم در فاز نخست و با در نظر گرفتن محیط‌های مختلف مایع و با تمرکز بر نیروهای مولکولی صورت گرفته است. آب، متانول، اتانول و پلاسما محیط‌های مورد بررسی و نیروهای وان دروالس، آب‌پوشی و الکترواستاتیک دولایه نیروهای بین مولکولی مورد بررسی در این پژوهش هستند.

۲- مدل سازی

در این بخش، ابتدا روند کار تجربی صورت گرفته بر روی بافت سرطانی سر و گردن تشریح شده است. سپس، با توجه به اهمیت

شده‌اند. همچنین، ϵ مقدار ثابت دی‌الکتریک و ϵ_0 مقدار نفوذ در خلأ بیان شده‌اند.

$$F_{el} = \frac{4 \pi R \sigma_S \sigma_T \lambda_D}{\epsilon \epsilon_0} e^{-D/\lambda_D} \quad (3)$$

۲-۱-۳- نیروی آب‌پوشی

به‌منظور به‌دست آوردن نیروی آب‌پوشی [۱۲] از رابطه‌ی انرژی در معادله‌ی (۴) استفاده شده است. پارامترهای λ_H همان طول دی‌بای و A برابر با دامنه تعریف شده است.

$$U = A e^{-x/\lambda_H} \quad (4)$$

۲-۲- کار تجربی انجام‌شده

بررسی‌های صورت گرفته در طی فرایند نانومنیپولیشن در دوفاز مورد بررسی قرار می‌گیرد. فاز نخست نیرو و زمان بحرانی را با در نظر گرفتن تمام عوامل محیطی و هندسی محاسبه می‌شود. فاز دوم نیز بررسی بر روی حرکت ذره را تشریح می‌کند. روند کلی فرایند پس از آماده‌سازی بافت و تنظیم ارتفاع میکروسکوپ نیروی اتمی هنگام قرارگیری لام با تماس نوک سوزن تیرک میکروسکوپ نیروی اتمی آغاز می‌شود. با انحراف تیرک هنگام جابه‌جایی، اطلاعات مورد نظر با تاباندن نور لیزر به تیرک و بازتاب آن بر روی فتودیود به‌دست می‌آیند. تصاویر توپوگرافی و نمودارهای نیرو - جابه‌جایی از جمله خروجی‌های این فرایند هستند. شکل ۱ بیانگر روند انجام کار تجربی صورت گرفته در این پژوهش است.



شکل ۱: فرایند نانومنیپولیشن بافت سرطانی سر و گردن

۳- نتایج و بحث

در این بخش علاوه بر بررسی تصاویر توپوگرافی نتایج حاصل از شبیه‌سازی فاز اول منیپولیشن و همچنین بررسی نمودارها در محیط‌های مختلف با در نظر گرفتن نیروهای بین‌مولکولی صورت پذیرفته است. شایان ذکر است برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی نیروهای بین مولکولی و فاز اول منیپولیشن از نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

۳-۱- نتایج حاصل از تصویربرداری با میکروسکوپ نیروی اتمی

تصاویر توپوگرافی مشخص شده در شکل ۲، یکی از داده‌های حاصل از تصویربرداری با میکروسکوپ نیروی اتمی است. با توجه به این تصاویر و با تعیین محدوده برای میانگین گرفتن از ارتفاع

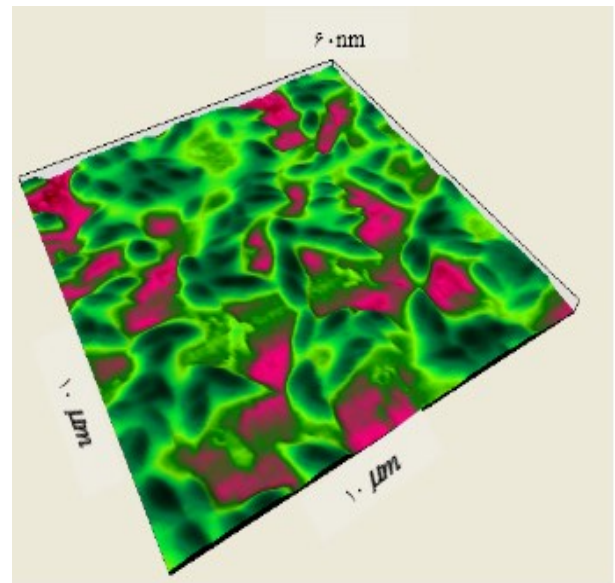
در آن محدوده، شکل هندسی تقریبی بافت مورد نظر قابل تشخیص است.

شکل ۲: تصویر توپوگرافی حاصل از تصویربرداری با میکروسکوپ نیروی اتمی

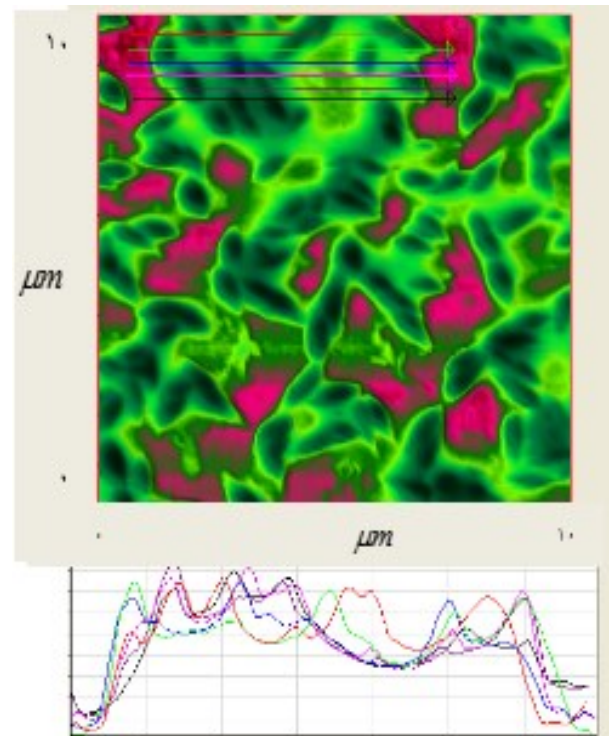
۲-۳- نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط‌های

مختلف با در نظر گرفتن نیروهای بین مولکولی

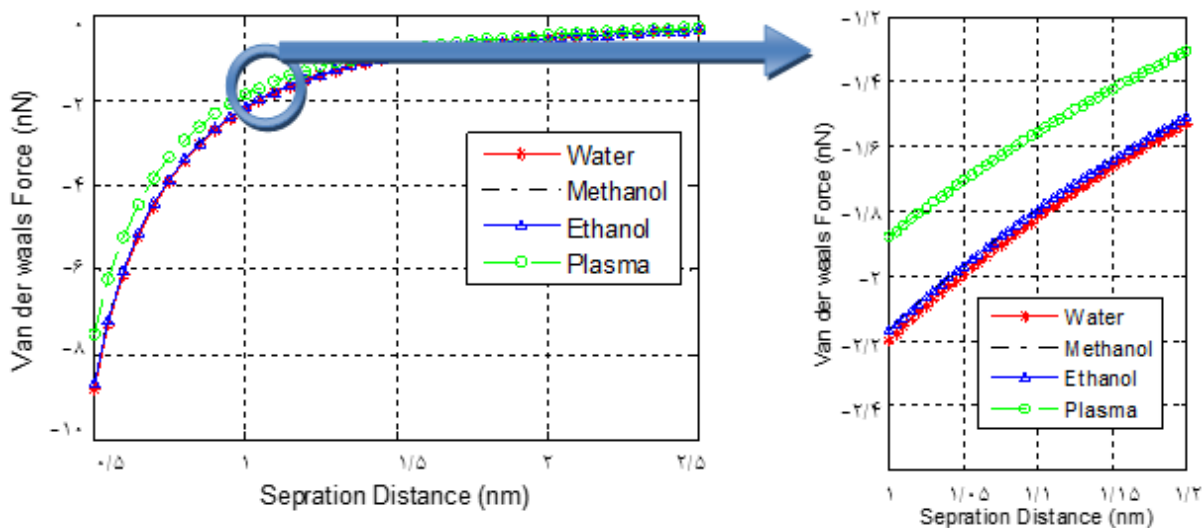
شکل ۳، نشان‌دهنده‌ی نمودارهای فاصله-نیرو حاصل از کاوش سطح بافت سرطانی سر و گردن به وسیله‌ی میکروسکوپ نیروی اتمی است. نمودارها در محیط‌های آب، اتانول، متانول و پلازما ترسیم شده‌اند. شکل ۳-الف، به بررسی روند تغییرات نیروی وان‌دروالس در محیط‌های مختلف مایع پرداخته است. همانطور که مشاهده می‌شود، اندازه‌ی نیروی وان‌دروالس با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن عددی ثابت در محور افقی، مشاهده می‌شود که مقدار نیروی وان‌دروالس در محیط پلازما بیشترین مقدار و در محیط آب از کمترین مقدار برخوردار است بررسی‌های صورت گرفته در شکل ۳-ب، مربوط به نیروی بین مولکولی الکترواستاتیک دولایه است. افزایش فاصله در این نمودار نیز سبب کاهش مقدار نیرو می‌شود. در این نمودار نیز بیشترین مقدار نیروی دولایه در محیط آب رخ داده است. در نهایت در نمودار ۳-ج، نیروی آب‌پوشی مورد بررسی قرار گرفته است. همچون دو نیروی دیگر روند کاهشی نیروی آب‌پوشی نیز مشاهده می‌شود. کمترین مقدار این نیرو در محیط پلازما قابل مشاهده است.



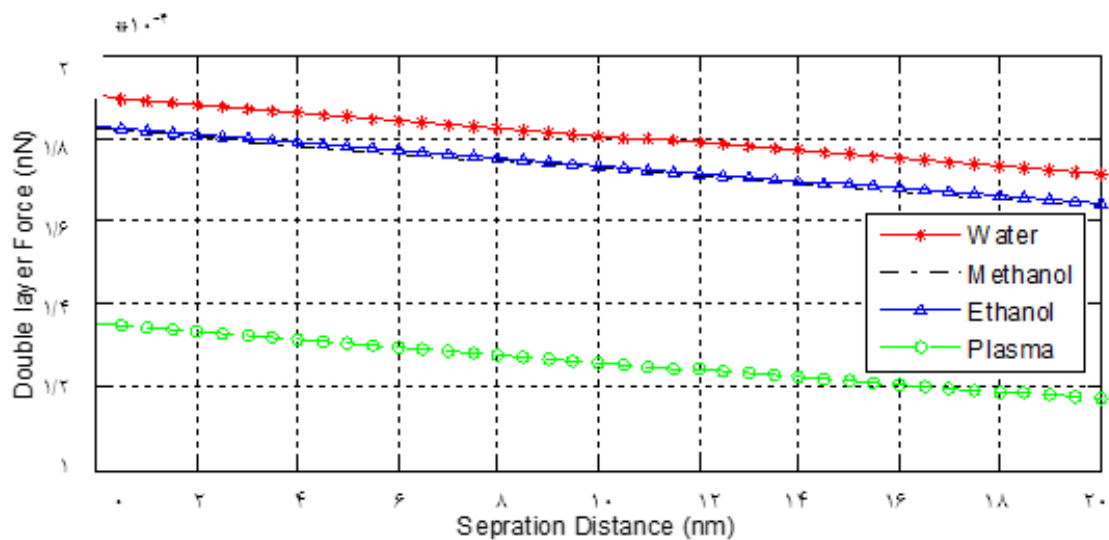
الف- تصویر دوبعدی بافت سرطانی سر و گردن



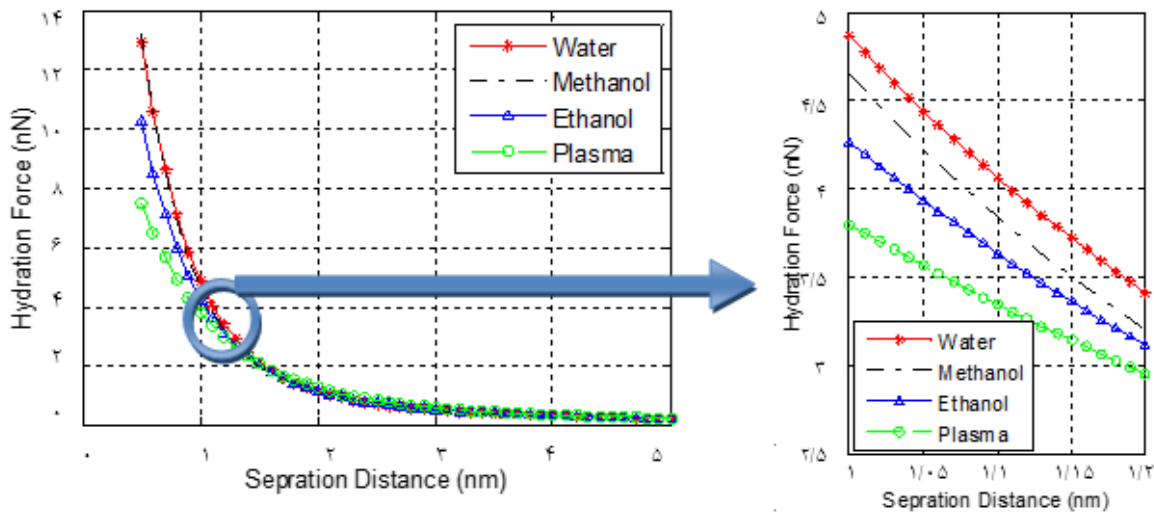
ب- تخمین هندسه‌ی بافت سرطانی سر و گردن



الف) بررسی نیروی وان دروالس در محیط‌های مختلف



ب) بررسی نیروی نیروی بین مولکولی الکترواستاتیک دولایه در محیط‌های مختلف



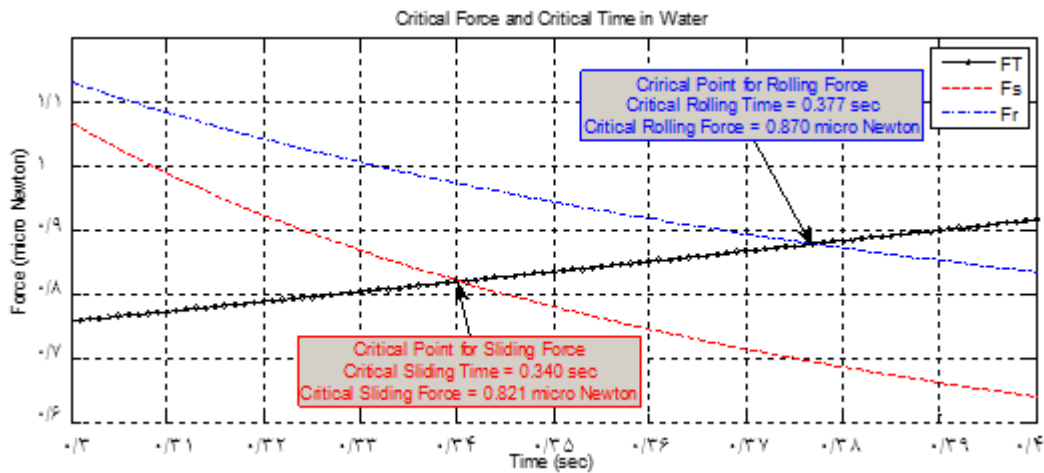
ج) بررسی نیروی آب‌پوشی در محیط‌های مختلف

شکل ۳: نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط‌های مختلف با در نظر گرفتن نیروهای بین مولکولی

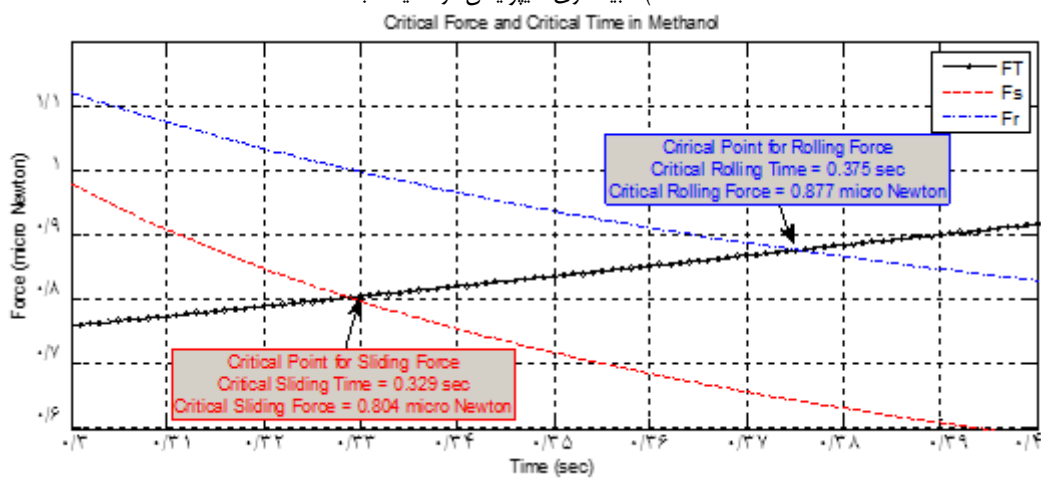
۳-۳ نتایج حاصل از شبیه‌سازی فاز اول نانومنیپولیشن در محیط‌های مختلف

است. نیرو و زمان بحرانی به ترتیب برابر با 0.1804 میکرو نیوتن و 0.329 ثانیه ثبت شده‌اند. نقاط 0.1781 میکرو نیوتن و 0.314 ثانیه نمایانگر نیرو و زمان بحرانی در محیط اتانول هستند. نتایج این نمودار در شکل ۴-ج ترسیم شده است. شبیه‌سازی‌های صورت گرفته بر روی بافت سرطانی سر و گردن در محیط پلاسما در شکل ۴-د آورده شده است. نیروی بحرانی و زمان بحرانی لغزشی در این محیط برابر با 0.1759 میکرو نیوتن و 0.299 ثانیه در نظر گرفته شده است. شکل ۵ و مقایسه‌ی تمامی نمودارهای ترسیمی در طی شبیه‌سازی صورت گرفته و مقادیر نیرو و زمان بحرانی نشان‌دهنده‌ی کمترین نیرو و زمان بحرانی در محیط پلاسما و بیشترین مقدار در محیط آب است، که با توجه به پایین بودن مقادیر نیروهای بین مولکولی در محیط پلاسما امری طبیعی است.

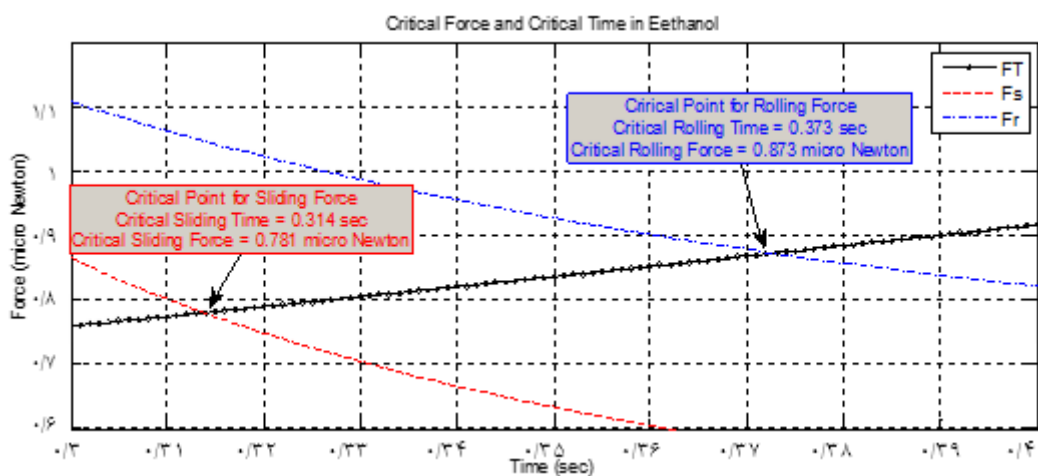
به منظور بررسی شبیه‌سازی صورت گرفته برای بافت سرطانی سر و گردن در فاز نخست، نمودارهای نیرو-زمان برای هر محیط ترسیم شده است. در تمامی نمودارهای ترسیم شده بیانگر برآیند نیروی غلتشی و نیروی لغزشی است. محل برخورد نیروهای لغزشی و غلتشی با نیروی برآیند بیانگر نیرو و زمان بحرانی غلتشی و لغزشی برای شروع حرکت هستند. بررسی تمامی نمودارهای ترسیمی، نشان‌دهنده‌ی شروع حرکت لغزشی، قبل از حرکت غلتشی است و نیرو و زمان بحرانی با توجه به حرکت لغزشی تعیین می‌شود. در نمودار شکل ۴-الف، زمان بحرانی برابر با 0.340 ثانیه و نیروی بحرانی برابر با 0.1821 میکرو نیوتن در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در محیط آب انجام شده است. شکل ۴-ب، بیانگر نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی فاز نخست در محیط متانول



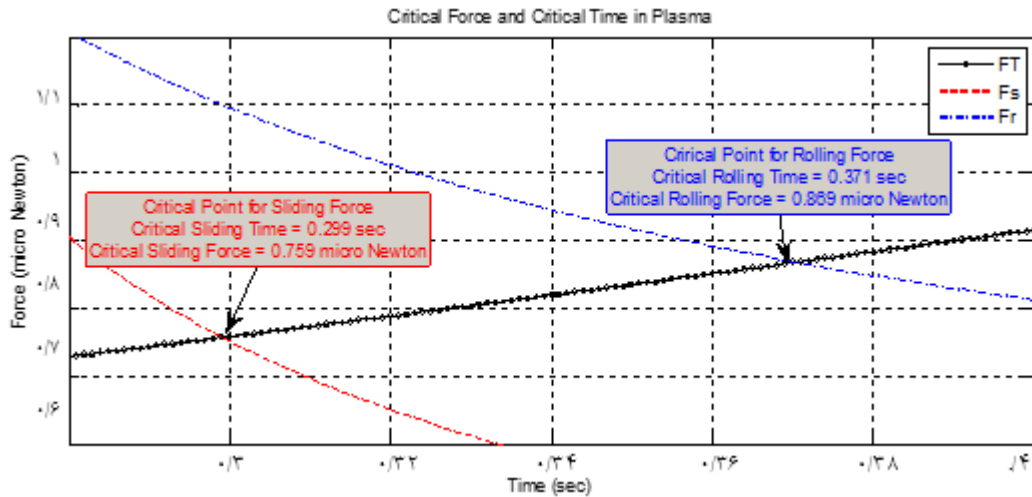
الف) شبیه‌سازی مینیولیشن در محیط آب



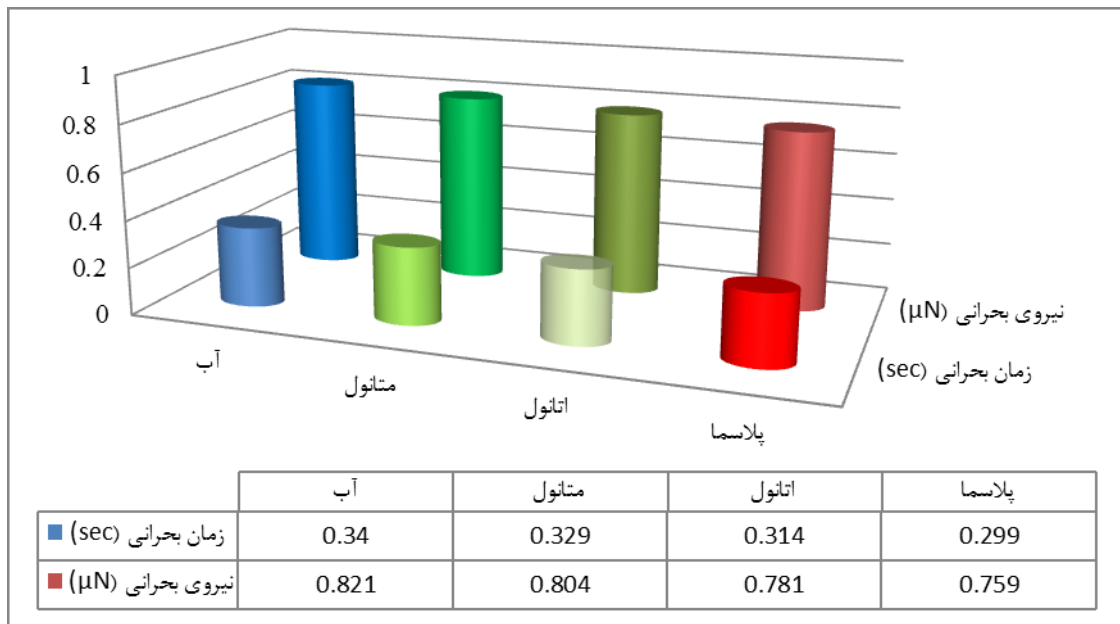
ب) شبیه‌سازی مینیولیشن در محیط متانول



ج) شبیه‌سازی مینیولیشن در محیط اتانول



د) شبیه‌سازی مینیولیشن در محیط پلاسما
شکل ۴: نمودارهای نیرو و زمان بحرانی در محیط‌های مختلف مایع



شکل ۵: مقایسه‌ی نیرو و زمان بحرانی در محیط‌های مختلف مایع

بافت با میکروسکوپ نیروی اتمی کم‌ترین مقدار نیروهای بین مولکولی برای محیط پلاسما ثبت شده است، که همین امر سبب کمترین مقدار نیرو زمان بحرانی برای نانومینیولیشن بافت سرطانی سر و گردن در این محیط شده است. با توجه به پژوهش صورت گرفته در این مقاله و به‌منظور دستیابی به مقادیر واقعی می‌توان عوامل تأثیرگذار در طی این فرایند مانند هندسه‌ی ذره، هندسه‌ی تیرک و سایر عوامل محیطی را در پژوهشات پیش‌رو مورد بررسی قرار داد. همچنین، می‌توان خواص مکانیکی این بافت را به‌منظور بهبود روند درمان و تشخیص به‌دست آورد.

مراجع

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، بافت نمونه بافت سرطانی سر و گردن به‌وسیله‌ی میکروسکوپ نیروی اتمی مورد بررسی قرار گرفته است. از این ابزار جهت به‌دست آوردن اطلاعاتی همچون مدول یانگ ذرات، نیروهای چسبندگی، ویسکوزیته، هندسه‌ی بافت و سایر مشخصات ساختاری و خواص بافت استفاده می‌شود. طی فرایند نانومینیولیشن و در فاز نخست، اطلاعات مربوط به نیرو و زمان بحرانی در محیط‌های آب، اتانول، متانول و پلاسما ثبت شده است. همچنین، تغییرات نیروهای بین مولکولی آب‌پوشی، وان‌دروالس و الکترواستاتیک دولایه مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با توجه به نمودارهای حاصل از کاوش سطح

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, 53(12), 10-10, 2022.

[9] H. Xie, D. S. Haliyo, S. Régnier, A versatile atomic force microscope for three-dimensional nanomanipulation and nanoassembly, *Nanotechnology*, 20(21), 2009.

[10] S. Sadeghzadeh, M. H. Korayem, Modeling and Control of Deformation of Tip of AFM Nano-robot in the Automatic Nano-manipulation Operations, *mechanical engineering journal*, 47(1), 169-178, 2017.

[11] M. Taheri, The effect of environmental factors on critical force and time of 3D nanomanipulation using Sobol statistical sensitivity analysis method, *Journal of Mechanical Engineering*, 49(2), 159-168, 2019.

[12] Y. Gur, I. Ravina, A. J. Babchin, on the electrical double layer theory. II. The Poisson—Boltzmann equation including hydration forces, *Journal of Colloid and Interface Science*, 64(2), 333-341, 1987.

[13] J. I. Kilpatrick, S. H. Loh, S. P. Jarvis, Directly probing the effects of ions on hydration forces at interfaces, *Journal of the American Chemical Society*, 135(7), 2628-2634, 2013.

[14] J. Morag, M. Dishon, U. Sivan, The governing role of surface hydration in ion specific adsorption to silica: An AFM-based account of the Hofmeister universality and its reversal, *Langmuir*, 29(21), 6317-6322, 2013.

[15] A. H. Korayem, M. Taheri, M. H. Korayem, Dynamic Modeling and simulation of nano particle motion in different environments using AFM nano-robot, *Modares Mechanical Engineering*, 15(1), 294-300, 2015.

[1] K. K. Jain, Recent advances in nanooncology, *Technology in cancer research & treatment*, 7(1), 1-13, 2008.

[2] X. Liang, J. Y. Zhang, I. K. Cheng, J. Y. Li, Effect of high energy X-ray irradiation on the nano-mechanical properties of human enamel and dentine, *Brazilian oral research*, 30(1), 2015.

[3] A. M. Rose-Ped, L. A. Bellm, J. B. Epstein, A. Trotti, C. Gwede, H. J. Fuchs, Complications of radiation therapy for head and neck cancers: the patient's perspective, *Cancer nursing*, 25(6), 461-467, 2002.

[4] S. Sahoo, S. Parveen, J. Panda, The present and future of nanotechnology in human health care, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 3(1), 20-31, 2007.

[5] T. Fukuda, M. Nakajima, H. Tajima, Y. Shen, T. Yue, Micro-nanomanipulation system toward biological cell analysis and assembly, in: *2012 First International Conference on Innovative Engineering Systems*, IEEE, 31-36, 2012.

[6] E. Alizadeh, M. Dehestani, P. Zysset, Mechanical Properties and Structural Behavior of Bone at Nano Scale with Cohesive Elementmm, *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 53(2), 1-3, 2021.

[7] M. Taheri, Using of sphericalcontact models in 3d manipulationmodeling of Au nanoparticles using atomic force microscopy to calculate the critical force and time, *Journal of Mechanical Engineering*, 48(2), 175-184, 2018.

[8] M. Taheri, M. Mirzalu, Experimental Extraction of Young's modulus of MCF-7 Breast Cancer Cell Using Spherical Contact Models,

- [16] M. Taheri, 3D-Dynamic Modeling and simulation of biological nanoparticle motion using AFM nano-robot. *Modares Mechanical Engineering*. 15(12), 311-316, 2016.
- [17] M. Taheri, Application of atomic force microscopy in critical force and critical time extraction of 2D manipulation for gastric cancer tissue with different friction models. *Nanomeghyas*, 9(1), 136-145, 2022.
- [18] A. M. Badizi, H. Maleki, Investigation and Comparison of Structural, Morphological, Magnetic and Optical Properties of Cobalt Ferrite Thin layer and Nanoparticles, *Nanomeghyas*, 7(3), 89-97, 2020.
- [19] M. H. Korayem, M. Taheri, and Z. Rastegar, Sobol Method Application in Sensitivity Analysis of LuGre Friction Model during 2D Manipulation, *Scientia Iranica*, 21(4), 1461-1469, 2014.
- [20] M. Khalili, M. Taheri, and S. H. Bathaee, F. Shakeri, Study of DNA nanoparticle manipulation using atomic force microscopy based on finite element method using theories of contact mechanics, *Mechanics of Advanced and Smart Materials Journal*, 1(2), 155-174, 2022.
- [21] I. E. Dzyaloshinskii, E. M. Lifshitz, L. P. Pitaevskii, The general theory of van der Waals forces, *Advances in Physics*, 10(38), 165-209, 1961.



Investigation of intermolecular forces of head and neck cancerous tissue in different fluid environments during nanomanipulation process using atomic force microscope

M. Taheri*, F. Fereiduni

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak

Abstract: The study of the structure and improvement of particle properties in nanoscale has been one of the applications of the nanomanipulation process. Atomic force microscope is one of the most efficient study tools in the field of nanotechnology with applications such as imaging, manipulation, extraction of material properties and use in lithography. In this article, in order to identify the cancerous tissue of the head and neck and in order to improve the process of recognizing and treating the disease, atomic force microscopy has been used. Research has been performed in liquid media including water, ethanol, methanol and plasma. Investigation of intermolecular forces of van der Waals, Hydration and Electrostatic double layer in different liquid environments are other important cases in this research. Finally, after the simulations, the lowest critical force and time, which is one of the important goals of the first phase of nanomanipulation, are equal to $0.759 \mu\text{N}$ and 0.299 sec in plasma, respectively, and the highest value is equal to $0.821 \mu\text{N}$ and 0.340 sec in water. High levels of intermolecular forces in the water environment have been identified as causes of high critical force and time.

Keywords: Head and Neck cancer, Nanomanipulation, AFM, fluid environments, intermolecular forces.