شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

فصلنامه تخصصی

دانش آزمایشگاهی ایران

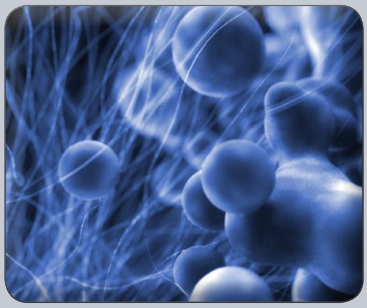
سال پنجم ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶ ■ شماره پیاپی ۱۸

ISSN 2538-3450

آماده‌سازی پودرهای آگلومره شده با اندازه نانومتری

ارگونومی و نقش آن در محیط‌های آزمایشگاهی

گرماسنجی روبشی تفاضلی با رویکردی کاربردی



میکروسکوپی روبشی هدایت یونی

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی
حمایتی ویژه از پژوهش در کشور

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir

عید غدیر خم

روز غدیر خم در میان روزهای عید فطر و قربان و جمعه
همانند ماه در میان ستارگان است. امام صادق (ع)

فصلنامه تخصصی

دانش آزمایشگاهی ایران

سال پنجم ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶ ■ شماره پیاپی ۱۸

ISSN 2538-3450

صاحب امتیاز: شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

سردبیر: رضا اسدی فرد

مدیرمسئول : مجتبی نسب

مدیریت اجرایی: شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

دبیر مقالات: داود قرایلو

همکاران این شماره: ابوذر سهرابی جهرمی، فاطمه شریفی‌عارف، امیرحسین خصوصی، سمانه غفرانی، معصومه معدنی‌پور، پدرام ملائکه، سمیه جلیل‌زاده، پیروز مرعشی، صدیقه صادق‌حسنی، زهرا ثبات

طراحی و صفحه آرایی : سیمین رفیع‌پور لنگرودی

ویراستاران: زینب زرینچه

نشانی: تهران . صندوق پستی ۳۴۴-۱۴۵۶۵

تلفن: ۶۳۱۰۳۴۵۳ ۰۲۱

پایگاه اینترنتی: www.IJLK.ir

پست الکترونیکی: info@ijlk.ir

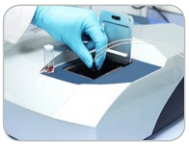
شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

فهرست مطالب

اخبار

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی حمایتی ویژه از پژوهش در کشور ۲

استاندارد



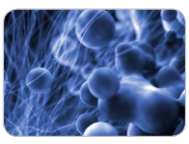
مشخصه‌یابی نانومواد با استفاده از پراکندگی نور پویا (DLS) - روش آزمون INSO 21304 ۴

مقالات

ارگونومی و نقش آن در محیط‌های آزمایشگاهی ۵

آماده‌سازی پودرهای آگلومره شده با اندازه نانومتری ۱۱

گرماسنجی روبشی تفاضلی با رویکردی کاربردی ۱۵



میکروسکوپی روبشی هدایت یونی ۲۴

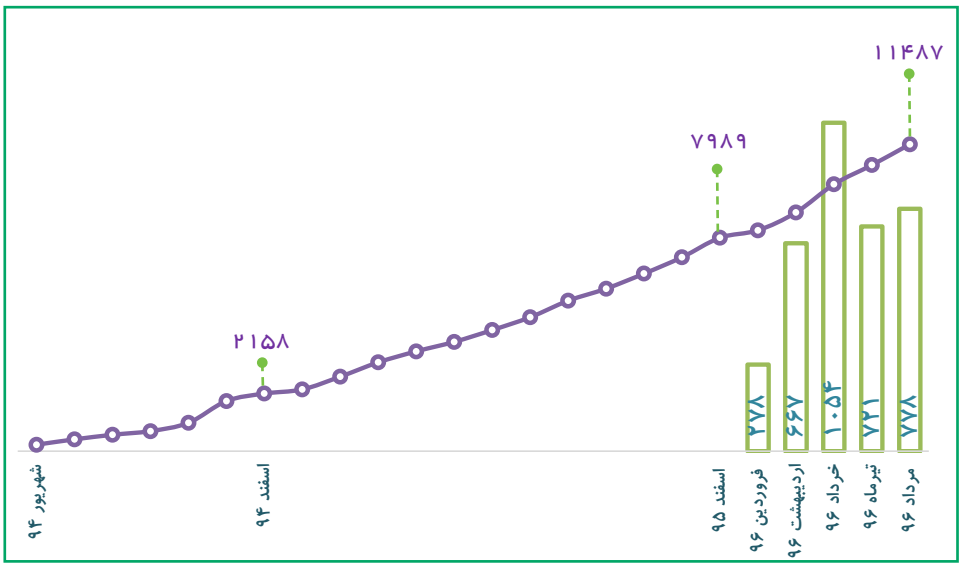
ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری

باشگاه مشتریان
شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی
حمایتی ویژه از پژوهش در کشور

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی فعالیت خود را از شهریورماه ۱۳۹۴ شروع کرده است. این سامانه که بر پلتفرم ارایه خدمات آزمایشگاهی اعتباری شبکه آزمایشگاهی بنا نهاده شده، سعی دارد پژوهشگران، دانشجویان، اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، نخبگان و همچنین شرکت‌ها، به ویژه شرکت‌های دانش بنیان را به سمت دریافت خدمات مورد نیاز خود از مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی هدایت نماید.

ارایه یارانه دریافت خدمات آزمایشگاهی در باشگاه مشتریان، در قالب طرح‌های تخفیف ۱۵ تا ۱۰۰ درصدی به گروه‌های مختلف، بستری را برای کمک به رشد و توسعه پژوهش از طریق تأمین بخشی از هزینه‌های انجام آزمایش ایجاد کرده و از سویی در راستای توسعه کسب و کار مراکز آزمایشگاهی عضو شبکه در کشور گام برمی‌دارد.

از شهریورماه ۹۴ تا پایان مردادماه سال جاری، ۱۱،۴۸۷ شخص حقیقی و حقوقی در باشگاه مشتریان شبکه عضو شده‌اند. از این تعداد، ۱۱،۰۵۷ عضو، شخص حقیقی و ۴۳۰ عضو نیز در قالب شرکت (شخص حقوقی) هستند. از ابتدای فروردین ماه ۱۳۹۶ تا پایان مردادماه سال جاری، تعداد ۳،۴۹۸ عضو به اعضای باشگاه مشتریان اضافه شده‌است که نسبت به بازه زمانی مشابه در سال ۱۳۹۵، بیش از ۸۰ درصد رشد را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. عضویت در باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی

طی دو سال فعالیت باشگاه مشتریان تا کنون، طرح‌های تخفیف متنوعی به پژوهشگران و صنایع کشور ارایه شده است که عبارتند از:

- **طرح ویژه اعضای هیئت علمی:** ارایه ۴۰ درصد تخفیف تا سقف ۴۰ میلیون ریال به اعضای هیئت علمی بیش از ۱۰۰ دانشگاه و پژوهشگاه بزرگ کشور؛
- **طرح ویژه شرکت‌های دانش بنیان:** اختصاص ۲۰ میلیون ریالی اعتبار تخفیف ۵۰ درصد به هر شرکت دانش بنیان؛
- **طرح ویژه اعضای باشگاه مشتریان:** اختصاص اعتبار ۱۰ میلیون ریالی تخفیف ۱۵ درصد به همه اعضای حقیقی و حقوقی باشگاه مشتریان؛
- **طرح ویژه نخبگان:** ارایه تخفیف ۶۰ درصد تا سقف ۱۵ میلیون ریال به برگزیدگان بنیاد ملی نخبگان؛
- **طرح ویژه پسا دکتری:** اختصاص ۵۰ میلیون ریال اعتبار دریافت خدمات آزمایشگاهی به هر منتخب پسا دکتری معرفی شده از سوی معاونت امور بین الملل و تبادل فناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به شبکه آزمایشگاهی.

علاوه بر طرح های مذکور، ستادهای فناوری راهبردی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری نیز در قالب تفاهم‌نامه‌هایی، با استفاده از این پلتفرم، حمایت‌های خود از طرح‌های پژوهشی و توسعه فناوری را در قالب ارایه اعتبار خدمات آزمایشگاهی به محققین و شرکت‌های دانش‌بنیان ارایه کرده‌اند.

وضعیت ثبت نام در طرح‌های تخفیف (تا پایان مردادماه ۹۶)

مترجم
ابوذر سهرابی جهرمی
sohananotech@gmail.com

مشخصه‌یابی نانومواد با استفاده از پراکندگی نور پویا (DLS)- روش آزمون INSO 21304

تعیین اندازه ذرات با دستگاه پراکندگی نور پویا یکی از روش‌های رایج در حوزه فناوری‌نانو است که برای مطالعه محلول‌ها و سوسپانسیون‌ها بسیار مناسب است. در این روش با استفاده از حرکت براونی ذرات در فاز سیال، قطر هیدرودینامیکی ذره مشخص می‌شود.

این استاندارد به ارائه روش آزمون مشخصه‌یابی میانگین و توزیع نانومواد با استفاده از DLS می‌پردازد ولی شامل پتانسیل زتا نمی‌شود.

در بخش ابتدایی این استاندارد ارتباط میان حرکت ذره با ابعاد آن براساس معادله استوک انیشتین ارائه و در ادامه موضوع محاسبه قطر متوسط ذره با کمک این رابطه بحث می‌شود. انواع روش‌های تحلیلی برای داده‌های این معادله ارائه شده و در بخش بعد اپتیک دستگاه DLS تشریح می شود.

در ادامه اجزاء مختلف دستگاه DLS ارائه شده و هر یک از اجزاء به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند و نقش هر یک از اجزاء در انجام آزمون و جزئیات مربوط به عملکرد این اجزاء در این بخش به صورت کامل بررسی می‌شود.

بعد از معرفی و بررسی اجزاء، روش‌های آماده‌سازی مناسب برای انجام صحیح آزمون تشریح شده و نکات ایمنی و فناورانه لازم که بتواند نتیجه‌ای تکرارپذیر و قابل استناد را ارائه دهد در این بخش مطرح می‌شود. غلظت به عنوان عاملی مهم که در نتیجه DLS تاثیرگذار است مورد بحث قرار گرفته و ارتباط میان غلظت و عوامل مختلف ارائه می‌شود. برخی الزامات کمینه و بیشینه در انجام آزمون در این استاندارد قید شده است.

این استاندارد اصول ضروری را نیز برای انجام صحیح آزمون ارائه می‌کند که این اصول هم برای بخش آماده‌سازی و هم کار با دستگاه است. تئوری‌های مختلفی برای انجام آزمون وجود دارد که در این استاندارد به خواننده درباره انتخاب تئوری صحیح انجام آزمون اطلاعات زیادی می‌دهد.

کالیبراسیون یکی از مباحث مطرح شده در این استاندارد است که در آن موضوعاتی نظیر انتخاب ماده مرجع و تعیین حدود تکرارپذیری قید شده است.

در بخش پایانی نیز چگونگی ارائه گزارش آزمون درج شده است که موارد مورد نیاز برای ارائه گزارش به طور دقیق قید شده است. در پیوست‌های پایانی نیز توصیه‌های کاربردی برای انجام بهتر آزمون DLS ارائه شده است.

نویسندگان
فاطمه‌شریفی‌عارف[۱و۳*]
امیرحسین خصوصی[۲و۳]
*F_sharifi63@yahoo.com

ارگونومی و نقش آن در محیط‌های آزمایشگاهی

چکیده

ارگونومی یا همان مهندسی عوامل انسانی، علمی ترکیبی است که سعی دارد ابزارها، دستگاه‌ها، محیط کار و مشاغل را با توجه به توانایی‌های جسمی - فکری و محدودیت و علائق انسان‌ها، طراحی کند. این علم با هدف افزایش بهره‌وری، سلامتی، ایمنی و رفاه انسان در محیط، شکل گرفته است. بی توجهی به رعایت اصول ارگونومی در آزمایشگاه‌ها باعث کاهش کارایی و افزایش استرس کارکنان می‌شود. به کارگیری ارگونومی در محیط کار می‌تواند موجب حذف یا کاهش صدمات و مشکلات بهداشت و ایمنی شغل در محیط آزمایشگاه و افزایش بهره‌وری شود. سازمان بین‌المللی کار، واژه ارگونومی را به معنای متناسب کردن کار و شغل برای انسان تعریف کرده است. مدیران آزمایشگاه‌ها می‌توانند با به کارگیری ارگونومی ضمن تامین ایمنی مناسب بین کارکنان باعث افزایش کیفیت و کمیت در ارائه خدمات آزمایشگاهی به مشتریان شوند. هدف اصلی این مقاله بررسی ارگونومی در محیط‌های آزمایشگاهی است.

واژه‌های کلیدی

ارگونومی، محیط کار، کارایی کارکنان، ایمنی کارکنان.

مقدمه

نکته مهمی که در پیاده‌سازی ارگونومی باید به آن توجه شود آن است که یک مداخله ارگونومیکی باید هم منافع کارکنان (سلامتی، امنیت و رضایت) و هم منافع سازمان)بهره‌وری، تولید بهینه و کیفیت) را مورد توجه قرار داده و بهبود دهد [۱۵].

کار و انسان دو جزء تفکیک ناپذیر در دنیای امروز است که باید متناسب با یکدیگر برنامه‌ریزی شوند و برای پیشگیری از بروز هرگونه حادثه در محیط کار، بیماری‌هایی که در محیط کار وجود دارد و تأمین تندرستی نیروی کار، ارگونومی به‌عنوان راهی کارآمد، به یاری انسان آمده است. در حقیقت ارگونومی ابزاری است که انسان به کمک آن می‌تواند محیط زندگی، کار و نیز وسایل و تجهیزات مورد استفاده را مطابق با توانمندی‌ها و ویژگی‌هایی که خود می‌خواهد طراحی کند [۶].

یک محیط خوب، می‌تواند بر رشد ارزش‌های پرسنل و افزایش توان و بهره‌وری آنان اثرگذار باشد به همین دلیل علم مدیریت انسانی یا ارگونومی برای رهبران و مدیران سازمان از اهمیت بالایی برخوردار است [۵].

ایمنی در آزمایشگاه‌ها و ارگونومی

دانشگاه باید به‌عنوان مهد پرورش پژوهشگران، محیط کار سالم و ایمنی را برای دانشجویان خود فراهم کند. یکی از محیط‌های آموزشی، آزمایشگاه‌ها هستند که درصورت عدم رعایت موارد ایمنی در آن‌ها بروز حوادث اجتناب ناپذیر می‌شود. آمار حوادثی که در آزمایشگاه‌ها رخ می‌دهد تکان دهنده است. به‌طوری که در تایوان حوادث مکرر و غیرقابل پیش‌بینی آزمایشگاه‌ها در سال‌های گذشته یکی از عوامل اصلی افت پیشرفت دانشگاه‌ها ذکر شده‌است. بنابر آمار دولت ایالت متحده در سال ۲۰۰۵، نزدیک به ۱۰۰۰۰ حادثه در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی اتفاق افتاده است که برخی از حوادث حتی منجر به صدمات شدید و مرگ شده‌است. این حوادث و گزارش‌ها نشان دهنده اهمیت مسائل ایمنی و بهداشتی در آزمایشگاه‌ها است. در مطالعه‌ای ارزیابی شد که ۵۰ درصد از حوادث اتفاق افتاده ناشی از مدیریت ضعیف، آموزش ناکافی پرسنل و عوامل روانی است. باید ایمنی آزمایشگاه به‌عنوان عامل تعیین کننده تهدیدهای بالقوه ناشی از استفاده از ابزار و تجهیزات دستگاه‌های در هنگام انجام آزمایش و کارهای مقدماتی رعایت شود [۱۹].

به‌منظور افزایش فرهنگ ایمنی در بین همه افراد مرتبط با آزمایشگاه لازم است از بروشورهای ایمنی در آزمایشگاه استفاده شود و همچنین دوره‌های آموزشی ایمنی از قبیل بهداشت و ایمنی اجرایی آشنایی با قوانین و استانداردهای ایمنی در آزمایشگاه برای پرسنل به‌صورت دوره‌ای برگزار شود.

تعاریف ارگونومی محیط کار

ارگونومی یک نظم علمی است که به واکنش بین انسان‌ها و اجزای دیگر سیستم مربوط است و حرفه‌ای است که داده‌ها، روش‌ها، اصول و تئوری را به‌منظور بهینه‌سازی سلامت انسان و عملکرد کلی سیستم در طراحی به کار می‌برد [۱۱].

ارگونومی در عمل به مفهوم تطابق و سازگاری محیط کار، ابزار کار و شرایط کار با توانایی‌های جسمی و روانی انسان‌ها است. ارگونومی یا مهندسی عوامل انسانی دانشی است کاربردی مرکب از علوم پایه مختلف از جمله فیزیولوژی روانشناسی، فیزیک، مکانیک، طراحی، آمار، ریاضی، جامعه شناختی، مدیریت و بسیاری موارد دیگر. این علوم در کنار هم اصول ارگونومی را شکل داده و به طراحی بهتر سازمان به‌منظور بهره‌ور بودن کمک نموده و میزان رفاه و سازگاری انسان‌ها با محیط کار را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهند [۳].

مهندسی عوامل انسانی عبارت است از فناوری و طراحی کاری، که براساس علوم زیست‌شناسی، انسانی، آناتومی فیزیولوژی و روانشناسی پایه‌ریزی شده‌است و دانش میان رشته‌ای است که ارتباط ما بین انسان و محیط پیرامون را بررسی می‌کند [۱۲].

ارگونومی در اروپا، ریشه در فیزیولوژی کار، زیست‌مکانیک و طراحی ایستگاه کار دارد در حالی که عوامل انسانی آمریکایی‌ها، از فیزیولوژی تجربی سرچشمه گرفته و بر عملکرد انسانی و طراحی سازمان‌ها متمرکز است. بیماری‌های مهمی که در زمینه ارگونومی مطرح است ناتوانایی‌های جراحتی شدیدی است که شامل صدمات اسکلتی - ماهیچه‌ای و سیستم عصبی می‌شود. دلایل عمده این صدمات به شرح زیر است:

- حالت‌های نامناسب بدنی؛
- حالت‌های بدنی ثابت؛
- نیاز به نیروی زیاد از حد برای انجام کار؛
- حرکات تکراری با تعداد زیاد؛
- مدت زمان ناکافی برای استراحت بین حرکات تکراری ارتعاشات؛
- دمای سرد [۱].

ارگونومی عبارتست از کاربرد اطلاعات علمی موجود درباره انسان (و روش‌های علمی کسب چنین اطلاعاتی) برای حل مشکلات طراحی [۵]؛ در واقع، ارگونومی یک علم چند رشته‌ای است که ارتباط متقابل فناوری، محیط و نیازهای روحی و جسمانی انسان را برقرار می‌سازد. اهداف اساسی علم ارگونومی، بهبود چگونگی انجام کار، روش‌های کار، ابزار کار و انطباق آن‌ها با ویژگی‌های روانی و جسمی انسان است. البته باید توجه داشت که با مراعات اصول ارگونومی، فشار کاری و خستگی‌های بی مورد کاهش می‌یابد [۱۰].

تاریخچه ارگونومی

حرفه عوامل انسانی در دوران پس از جنگ جهانی دوم زاده شد. در سال ۱۹۴۹، انجمن پژوهشی ارگونومی که اکنون انجمن ارگونومی نامیده می‌شود در انگلستان تاسیس شد. در سال ۱۹۵۹ موسسه بین‌المللی ارگونومی با هدف برقراری ارتباط بین چندین انجمن عوامل انسانی و ارگونومی در کشورهای مختلف جهان تاسیس شد. دوران ۲۰ ساله بین ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ شاهد رشد و بسط سریع عوامل انسانی بود [۲].

بررسی نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که «روش‌ها»، «ویژگی‌های انسانی»، «طراحی و سازمان»، «بهداشت و ایمنی» و «طراحی تجهیزات و محل کار»، پنج مبحث اصلی در ارگونومی هستند. ارگونومی فرصتی برای در اختیار قرار دادن دانش خود در مباحث دیگر به‌ویژه مقوله‌های «طراحی محصول و صنعت»، «معماری»، «سلامت و ایمنی» به‌ویژه در مورد مسائل مربوط به کاهش انرژی در توسعه پایدار سیستم‌ها است [۱۳].

در این ارتباط بخش‌هایی از سیستم شامل: طراحی شغل، طراحی محیطی، فناوری، روندها و ساختار سیستم کار، عناصری هستند که به‌طور سازنده به هم مرتبط بوده و برای بهبود مدیریت

و افزایش بهره‌وری مؤثر و به حداقل رساندن حوادث ناشی از سیستم‌های کاری ضعیف طراحی شده و بررسی می‌شوند [۱۴].

اهداف ارگونومی

هدف ارگونومی آن است که در طراحی ابزار و وسایل کار و سیستم‌های فنی و تولیدی و در طراحی محیط کار، نیازها و ویژگی‌های جسمی و روحی انسان‌ها در نظر گرفته شود تا در عین رسیدن به افزایش بازدهی تولید، به سلامت و بهداشت و راحتی انسان‌ها نیز به بیشترین حد توجه شده باشد. ارگونومی دارای اهدافی چون بهبود بهره‌وری، سلامتی، ایمنی و آسایش مردم و افزایش کارآیی متقابل سیستم‌های انسان - ماشین - محیط است. ارگونومی، علمی چند نظامه است که در چهار حیطه عمده، روانشناسی مهندسی، فیزیولوژی کار، مکانیک زیستی شغلی و آنتروپومتری فعالیت می‌کند [۱].

واحد ایمنی و بهداشت آزمایشگاه‌ها یکی از مهمترین بخش‌هایی است که مدیر آزمایشگاه باید به فعالیت‌های آن به‌منظور ارتقای ایمنی توجه خاص مبذول دارد. مدیر سیستم موظف است استانداردهای مربوط به حیطه کاری خود را به‌صورت مکتوب به‌عنوان محور ارزشیابی و پایش سیستم تهیه کند و از حسن اجرای آن توسط کارشناس ایمنی اطمینان حاصل نماید. موظف نمودن کارکنان به درک مبانی دستورالعمل ایمنی و تشکیل جلسات منظم به‌منظور چرخش اطلاعات و تجارب از وظایف کمیته ایمنی آزمایشگاه است.

در کشور ایران علیرغم گسترش روزافزون آزمایشگاه‌ها با وجود متخصصین ارزشمند و مطرح در این آزمایشگاه‌ها و نصب و راه‌اندازی تجهیزات پیشرفته و بسیار گران قیمت تشخیصی، ملاحظات و رعایت استانداردهای ایمنی به‌صورت سازمان یافته و سیستماتیک کمتر به چشم می‌خورد و این واقعیت به علت عدم وجود آموزش‌های جامع در خصوص حفاظت و ایمنی در سیستم‌های آموزشی دانشگاه‌های علوم پزشکی به‌خصوص در رشته‌های آزمایشگاهی است که می‌توان با نهادینه کردن آموزش‌های ایمنی گام مهمی در زمینه توسعه ایمنی پایدار در آزمایشگاه‌های کشور برداشت. برای بهبود کیفیت ایمنی آزمایشگاه‌ها باید از یک رویکرد سیستماتیک برای تعریف شاخص‌های کیفیت سیستم به‌منظور پایش و ارزیابی ایمنی و بالا بردن سطح کیفی کار بهره جست [۸و۱۸].

ارزش‌هایی مثل دموکراسی، قدرتمند کردن بخش‌های مختلف یک سازمان، تنظیم قدرت در تصمیم‌گیری‌ها، استفاده از هوش، خلاقیت، توانائی حل مسئله، مهارت و ابتکار انسان‌ها که جزء موارد کلیدی مدیریت مدرن برای رسیدن به یک ساختار سازمانی مطلوب است در راستای تحقق اصول مطرح در دانش ارگونومی کلان در طراحی و بازطراحی یک ساختار سازمانی است [۱۶].

کارکنان در شرایط ایمن و مناسب می‌توانند بیشترین عملکرد و بهره‌وری را داشته باشند. لذا می‌توان گفت که دانش ارگونومی به‌عنوان یک رشته و مبحث طراحی می‌تواند در توسعه منابع انسانی و عملکرد بهینه سیستم نقش اساسی داشته باشد [۱۷].

عوامل موثر بر ارگونومی

نظر به مباحث و پژوهش‌های مطرح، یکی از عوامل مؤثر در فرهنگ‌سازی و کاربرد دانش ارگونومی، آگاهی‌های ارگونومیکی است. فریکا اوزر ساری (۲۰۰۹) نشان داد که آموزش ارگونومی تاثیر مثبتی بر افزایش بهره‌وری، سلامتی و امنیت حرفه‌ای افراد و جامعه دارد [۹]. در این راستا توجه به این شاخص‌ها لازم است:

۱. محیطی:

شرایط محیط کار را می‌توان از دو جهت زیر مورد توجه قرار داد [۱]:

الف. شرایط درون سازمانی (محیط داخلی)

ب. شرایط برون سازمانی (محیط خارجی)

عوامل درون سازمانی که به‌طور مستقیم با بهداشت و ایمنی در ارتباط است عبارتند از: نور و روشنایی، درجه حرارت، رطوبت، صدا، هوا، آب و درجه مخاطرات که ماشین‌ها و ابزار مختلف کار ممکن است برای کارکنان بوجود آورد. شرایط بهداشتی و ایمنی خارج از محیط کار نیز دو دسته‌اند:

دسته اول مواردی است که در اختیار موسسات قرار دارند از قبیل پیش‌بینی وسیله ایاب و ذهاب سالم و مطمئن، جلوگیری از آلودگی فضای داخلی، جلوگیری از آلودگی آب‌های جاری اطراف موسسه، ایجاد فضای سبز کافی در محوطه و نظایر آن. دسته دوم مواردی است که به‌طور مستقیم در کنترل موسسات نبوده بلکه شرایط کلی محیط‌زیست حاکم بر آن است که به‌طور معمول دولت در کنترل آن دخالت می‌کند. مسائل عمومی بهداشتی و درمانی، آلودگی‌های مختلف شهری ترافیک شهرها و جاده‌ها از این قبیل مسائل است.

۲. فیزیکی:

شرایط فیزیکی محیط کار، شامل فضای کار، نوع میز و صندلی، ابزارهایی که افراد با آنها کار می‌کنند، از کامپیوتر تا تجهیزات صنعتی، نوع چیدمان میزها، تفکیک فضاها بر حسب نوع کارگروه‌های مختلف و مواردی از این دست دانست. مناسب بودن این شرایط، از پیش نیازهای اولیه افزایش کارایی افراد است. محیط کار باید امکانات اولیه را دارا باشد مثلاً از لحاظ نور، تهویه، دوری از سر و صدای محیطی و غیره مناسب باشد و ابزار و وسایل ابتدایی و مناسب کار در اختیار کارکنان قرار گیرد.

ابعاد ارگونومی

۱. روانشناسی مهندسی:

به عوامل محیطی فیزیکی و شیمیایی مانند سر و صدا، ارتعاش، روشنایی، آب و هوا و مواد شیمیایی که می‌توانند بر ایمنی، سلامتی و آسایش افراد تأثیر بگذارند می‌پردازد. صدای زیاد، نور نامناسب، دمای بالا یا پایین، شلوغی، کمبود حریم خصوصی و ناتوانی در شخصی‌سازی محیط کار می‌تواند منجر به مشکلات روحی روانی کارکنان شود.

۲. فیزیولوژی کار:

بخشی از دانش ارگونومی که تطبیق انسان با کار را در مصرف انرژی و همچنین تغییرات عوامل فیزیولوژیکی بدن در حین انجام کار مورد توجه قرار می‌دهد به فیزیولوژی کار معروف است. وظیفه فیزیولوژی کار این است که میزان سختی کار را اندازه‌گیری کند و آن را با توانایی‌ها و قدرت فرد متناسب سازد. این مساله خود باعث می‌شود که تنش‌های مختلفی که فرد را تهدید می‌کند، کاهش یابند. تنش یا فشار روانی می‌تواند موجب اختلال در سوخت و ساز بدن (متابولیسم) شود، ضربان قلب را بالا برد، باعث افزایش فشار خون شده، سردرد بیاورد و فرد را مستعد حمله قلبی کند.

۳. مکانیک زیستی شغلی:

در علم مکانیک زیستی از قوانین فیزیک و مفاهیم مهندسی برای توصیف حرکت بخش‌های مختلف بدن و نیروی وارد بر آنها در طی فعالیت روزانه استفاده می‌شود. فشار مداوم ناشی از ثابت بودن وضعیت بدن و یا حرکات تکراری آن روی عضلات بدن منجر به ایجاد خستگی موضعی در آنها می‌شود. به عبارتی، این فشار باعث کاهش فعالیت و کارآیی عضلات خواهد شد. روش‌های مکانیک زیستی تعامل فیزیکی بین انسان و سیستم مکانیکی اطراف او را مورد نظر داشته و ابزار، تجهیزات و تسهیلات کار را در این رابطه مورد مطالعه قرار می‌دهند.

۴. آنتروپومتری:

شامل جمع‌آوری و تفسیر داده‌های مربوط به شکل و اندازه ابعاد بدن انسان (ابعاد طولی، عرضی، محیطی و وزن) است. آنتروپومتری عبارت است از اندازه‌گیری سیستماتیک بدن با استفاده از وسایل اندازه‌گیری. با توجه به این که در مشاغل دفتری و اداری و اصولاً مشاغلی که فرد بیشتر وقت کاری خود را پشت میز کار سپری می‌کند هماهنگی و همخوان بودن ویژگی‌ها و ارتفاع میز کار و صندلی با ابعاد آنتروپومتریکی بدن فرد و بیان این مطلب که بیشتر مشکلات اسکلتی عضلانی که افراد دچار آن می‌شوند به دلیل استاندارد نبودن این ویژگی است، حایز اهمیت است. چرا که میز کوتاه موجب خم شدن زیاد فرد به جلو و مشکل ناراحتی در کمر، گردن و شانه‌ها می‌شود و همچنین میز بلند مسبب ایجاد درد در قسمت آرنج، کتف و گردن است و به همین ترتیب متناسب نبودن اندازه صندلی و مشخصات پشتی صندلی و سطح نشیمنگاه بدن فرد و میز کار وی می‌تواند علت اصلی مشکلات اسکلتی عضلانی در مشاغلی با این ماهیت باشد [۱].

مزایای استفاده از ارگونومی در آزمایشگاه‌ها

موارد زیر تعدادی از نتایج بکارگیری اصول ارگونومی در محیط کار است [۴]:

- درک تاثیر مخصوص نوع کار روی جسم کارکنان و کارایی شغلی آنها؛
- پیش‌بینی پتانسیل اثرات طولانی مدت (یا تجمعی) کار روی جسم کارکنان؛
- ارزیابی تناسب محل کار و ابزارها برای کارکنان برای انجام کار؛
- بهبود بهره‌وری و آسایش کارکنان.

برای رسیدن به یک محیط آزمایشگاهی ارگونومیک، توجه به اصول ارگونومی در مراحل ذیل ضروری است:

۱. مرحله طراحی و راه‌اندازی آزمایشگاه:

- طراحی متناسب با کاربری (فضا، میز، سکو، کابینت، لوله‌کشی آب و فاضلاب و گاز، نصب پریزها و کانال‌های تهویه، موقعیت در و پنجره‌ها و روشنایی و دسترسی به دیگر محل‌ها و غیره)؛
- ارتفاع نصب کابینت‌ها، ارتفاع میز کار و سکوها و فضای مورد نیاز برای رفت و آمد و قرارگیری صندلی‌ها و فضای مورد نیاز در زیر میزها برای راحتی پاها در حین نشستن روی صندلی‌ها و انجام فعالیت، ارتفاع نصب پریزها و عمق سطح میزها و محل مناسب برای نصب وایت بورد توجه کرد؛
- از دیگر نکات، توجه به لبه‌های تیز میزها و اشیاء و اجسام و تجهیزاتی است که در هنگام استفاده، دست و ساعد و پا و تنه در معرض تماس با آن‌ها قرار دارند که باید با طراحی مناسب حذف و یا به حداقل رسانده شوند؛
- موقعیت استقرار آزمایشگاه‌ها در یک دانشکده؛
- تحرک اجباری برای افراد با چیدمان مناسب داخل آزمایشگاه؛
- دسترسی به کابینت‌ها و دستگیره‌ها؛
- نصب قفسه‌ها؛
- توجه به رفت و آمد افراد، حمل و جابجایی دستگاه‌ها و تخلیه در شرایط اضطراری؛
- کف پوش کردن محل رفت و آمد و ایستگاه کار.

۲. مرحله چیدمان لوازم و تجهیزات:

- تعیین محل مناسب برای قرارگیری میز و صندلی و دستگاه رایانه‌ای تکنسین یا مسئول آزمایشگاه (درصورت نیاز)؛
- براساس نوع آزمایش‌های مورد نظر، فضای داخل آزمایشگاه تقسیم شده و لوازم و تجهیزات مربوط به هر آزمایش در فضای اختصاص یافته قرار گیرد؛
- در داخل هر فضا دسترسی به لوازم و مواد براساس میزان کاربری و دفعات کاربری آنها باشد؛
- در چیدمان مواد داخل کابینت‌های باز توصیه شده‌است که فقط موادی در داخل کابینت‌ها چیده شوند که استفاده مکرر روزانه دارند و باز به ترتیب الویت استفاده چیده شوند؛
- در چیدمان تجهیزات آزمایشگاه باید به فضای مورد نیاز به‌منظور استقرار افراد در کنار آن و قرارگیری متعلقات دستگاه، دسترسی آسان به کلیدها و دکمه و محل‌های ترزیق دستگاه و تنظیم ارتفاع کار (نشسته یا ایستاده) توجه شود؛
- چیدمان لوازم و مواد و تجهیزات به‌گونه‌ای باشد که کمترین نیاز به حمل دستی و جابجایی آن‌ها، اعمال نیرو و خمیدگی تنه و اندام فوقانی باشد. تا حد ممکن چیدمان به‌گونه‌ای باشد که کمترین نیاز به انجام کار مثل برداشتن مواد و لوازم در ارتفاع بالای شانه‌ها باشد.

۳. مرحله به کارگیری لوازم، مواد و تجهیزات و انجام آزمایش‌ها:

- انجام کارهای تکراری (مکرر) مثل کار با پیپت‌ها؛
- کار با پیپت‌ها یکی از رایج‌ترین کارها در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و کاربردی است. در این کار خطر عوامل ارگونومیک شامل اعمال نیرو با استفاده از انگشت، حرکات تکراری، پوسچرهای (وضعیت‌های بدنی) غلط به‌خصوص در قسمت مچ، بازوها و شانه‌ها به وفور دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

توجه نکردن به موارد ارگونومیکی در محیط کار می‌تواند تنش‌های جسمی و عاطفی و بهره‌وری پایین و کیفیت نامناسب کار را ایجاد کند. اجرای مؤثر برنامه‌های ارگونومی می‌تواند موجب افزایش آگاهی‌های ارگونومیکی شود. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که کاربردهای ارگونومی در طراحی ابزار، محیط، ایستگاه‌های کار و سازمان کار، تاثیر زیادی بر سلامت روانی، رضایت‌مندی در کار، افزایش کارایی، امنیت و سلامتی ایجاد خواهد کرد [۱۶].

برای تحقق این مهم، تعهد و پشتیبانی مدیریت عالی می‌تواند اجرای برنامه‌های ارگونومیکی را با موفقیت همراه سازد به‌گونه‌ای که می‌توان گفت بنیان هر برنامه مداخله ارگونومی، پشتیبانی مدیریت عالی آن سازمان است. وقتی تصمیم‌گیران رده بالا به‌صورت مشخص از ماموریت و هدف برنامه ارگونومی حمایت کنند، افزایش ایمنی، بهره‌وری و بهبود مدیریت سازمانی می‌تواند اتفاق بیافتد. بدون چنین تعهدی، تغییر رو به رشد مدیریت سازمان بعید خواهد بود [۱۵].

مهمترین مسئله در راستای اجرا و پیاده‌سازی ارگونومی، آموزش و ایجاد آگاهی نسبت به ارگونومی و قانع کردن مدیران آزمایشگاه‌ها در خصوص مزایای ارگونومی و نقش آن در طراحی پست‌های کاری، ارتقا کیفیت و بهره‌وری سیستم و کاهش بیماری‌های ناشی از کار و حفظ سلامت کارکنان است. در نتیجه مدیران می‌توانند با انجام برخی اقدامات اساسی شرایط محیطی لازم را با سرمایه‌گذاری کافی، به کارگیری فناوری جدید و امکانات مناسب چه از نظر روانی و چه از نظر فیزیکی برای کارکنان ایجاد کرده تا براساس آن بتوان روند عملکرد کارکنان را بهبود بخشید. برای تحقق این مهم می‌توان توصیه‌های ذیل را به مسئولین و مدیران آزمایشگاه‌ها ارائه نمود:

۱. آموزش مفاهیم ارگونومی به مدیران؛
۲. طراحی پست‌های کار با توجه به داده‌های آنتروپومتری؛
۳. استخدام افراد با توجه به نوع تخصص، ویژگی‌های فردی و قابلیت‌های افراد؛
۴. تجزیه و تحلیل حوادث شغلی، دلایل و خسارت‌های اقتصادی آن‌ها.

یک سازمان باید کارمندانش را به‌عنوان عوامل کلیدی حل مسائل آینده خود مورد توجه قرار دهد و به آن‌ها اجازه تقویت مهارت‌ها و ظرفیت‌های نوآوری‌شان داده شود. برای تسهیل بخشیدن به جریان شرکت کارمندان در حل مشکلات و به‌منظور ایجاد یک محیط پویا و فعال، مدیریت باید یک برنامه جدی آموزش، تربیت و خود اصلاحی را به جریان اندازد [۷].

پی‌نوشت

۱. کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، پژوهشگاه ابن‌سینا
۲. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پژوهشگاه مواد و انرژی
۳. عضو کارگروه تخصصی استاندارد و کالیبراسیون شبکه آزمایشگاهی

مراجع

[۱] بابایی، شبنم؛ رحیم‌زاده، ایوب (۱۳۹۴)؛ بررسی عوامل موثر بر ارگونومی محیط کار، دومین سمپوزیوم بین‌المللی علوم مدیریت با محوریت توسعه پایدار.

[۲] ساندرز، مارک (۱۳۷۸)؛ ارگونومی، ترجمه: محمدرضا افضلی، تهران: علوم دانشگاهی.

[۳] سیناپور، صادق؛ ستوده، محمدجواد؛ چگنی، حسین؛ آذرشاه، علی (۱۳۹۴)؛ ارگونومی و ایمنی کارکنان؛ رسالتی مهم برای مدیریت منابع انسانی، دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری.

[۴] نیک‌پور، امین؛ زارع کاسب، معصومه (۱۳۹۴)؛ ارگونومی از دیدگاه سازمانی و نقش آن در کارایی کارکنان، ماهنامه اجتماعی، اقتصادی، علمی و فرهنگی کار و جامعه.

[۵] هلاندر، مارتین (۱۳۷۵)؛ مهندسی عوامل انسانی در صنعت و تولید، ترجمه :علیرضا چوبینه، شیراز: انتشارات راهبرد.

[۶] یزدانی، رضا؛ یزدانی، مازیار (۱۳۹۱)؛ ارگونومی و نقش آن در بهره‌وری نیروی کار در سازمان، همایش منطقه‌ای نقش مدیریت و حسابداری در تعالی سازمان‌ها و حل بحران‌های مالی.

[7] Abdoli-e- Eramaki, M. (2008), Body mechanics and principles of workstation design (ergonomics). First edition, Tehran: Publication of Omid-e-Majd.

[8] Astion, ML, Shojania, KG., Hamill,TR., Kim, S., Ng VL.(2003), Classifying laboratory incident reports to identify problems that jeopardize patient safety. American journal of clinical pathology, 120(1), pp.18-26.

[9] Ferika Özer Sarı. (2009), Effects of employee trainings on the occupational safety and health in accommodation sector, Social and Behavioral Sciences, 1, pp.1865–1870.

[10] Fevzi,K. (2009), The effect of TQM on performance in R&D environments: A perspective from South Korean firms" Tec novation, No. 28, pp. 855–863.

[11] IEA Technical Information. (2010), Human factors and sustainable development, Available from: http://www.iea.cc/ (accessed 30.10.2013).

[12] Martin J. Sutherland Cary L (1996), Stress prevention in the offshore oil and gas exploration and production industry, School of Management, University of Manchester Institute of Science and Technology, International Labour Office, Geneva.

[13] Radjiyev, A., Qiu, H., Xiong, S., & Nam, K. (2015), Ergonomics and sustainable development in the past two decades (1992–2011): Research trends and how ergonomics can contribute to sustainable development, applied ergonomics, 46, pp. 67-75.

[14] Robertson, M. M. (1998), Maintenance resource management, Human factors guide for aviation maintenance, 3, pp. 16-1.

[15] Sadra Abarghoueia, N. (2012), Design of a performance measurement model with macro ergonomics approach [PhD thesis]. University of Yazd.

[16] Sadra Abarghoueia, N., Hosseini Nasab, H.(2011), Total ergonomics and its impact in musculoskeletal disorders and quality of work life and productivity, Open Journal of Safety Science and Technology,1(3),pp.79.

[17] Shaliza, AM., Kamaruddin, S., Zalinda, O., Mohzani, M. (2009), the effect of ergonomics applications in work system on mental health of visual display terminal workers, European Journal of Scientific Research, 31(3), pp.341-354.

[18] Valenstein, PN, Raab, SS., Walsh, MK. (2006), Identification errors involving clinical laboratories. Arch Pathol Lab Med, 130(8), pp.11-13.

[19] Yari,S.,Taghavi,M.,Razmi,A.,Normohammadi, m.(2016),the assessment of health, safety and environment status in training laboratories, Hozan Journal of Environmental Sciences,1(3),pp.29-37.

آماده‌سازی پودرهای آگلومره شده با اندازه نانومتری

نویسندگان
سمانه غفرانی [۱و۳*]
معصومه معدنی‌پور [۲و۳]
*Samaneh_ghofrani@yahoo.com

واژه‌های کلیدی
میکروسکوپ الکترونی روبشی، آماده‌سازی پودر، آگلومره.

چکیده

در تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی همواره حصول تصاویر با کیفیت مد نظر است. از این رو آماده‌سازی نمونه گامی تاثیرگذار در دست یافتن به تصاویر مطلوب‌تر است. آماده‌سازی پودرها برای میکروسکوپ الکترونی روبشی، نیازمند تجربه و آگاهی در این زمینه بوده و در بیشتر موارد آماده‌سازی اولیه مناسب موجب تسهیل مراحل بعدی تصویربرداری می‌شود.

در این مقاله، ابتدا نگاهی اجمالی بر آماده‌سازی پودرها داشته و سپس با تقسیم‌بندی پودرها به دو گروه میکرونی و زیر میکرونی(و محدوده نانومتری)، به چگونگی آماده‌سازی مناسب هر یک و ارائه مراحل کاربردی به‌منظور برطرف شدن مشکل آگلومره شدن پودرها می‌پردازیم.

مقدمه

پودرها جزء دسته‌ای از مواد هستند که بررسی آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، کار نسبتاً مشکلی است زیرا بخاطر آگلومره شدن[۴] شدید، به سختی روی سطح، پراکنده و تفکیک می‌شوند. این امر از یک سو باعث می‌شود که لایه پوشش ایجاد شده روی ذرات پودر، ناهمگن باشد و پدیده شارژ رخ دهد و از سوی دیگر در اثر جدا شدن ذرات پودر از نمونه در حین انجام کار، محفظه خلأ و ستون دستگاه آلوده شده و به دنبال آن کیفیت نتایج بدست آمده مطلوب نشود. به همین دلیل، آماده‌سازی مواد پودری از اهمیت خاصی برخوردار بوده و باید فقط یک لایه از پودر روی پایه نمونه قرار گیرد و چون امکان ناهمگن بودن پودرها به لحاظ دانه‌بندی، بسیار بالاست، نمونه‌برداری باید به‌گونه‌ای صورت پذیرد که نماینده تمامی نمونه باشد [۱].

مراحل عمومی آماده‌سازی نمونه‌های پودری

به‌طور کلی، نمونه‌های پودری روی چسب دو طرفه رسانا نظیر چسب کربنی یا مسی چسبانده می‌شوند. چسب دوطرفه باید علاوه بر رسانا بودن، چسبندگی خوبی داشته و به اندازه کافی صاف باشد و همچنین الکترون‌های برگشتی و ثانویه کمی تولید کند [۲]. چسباندن پودرها روی پایه نمونه توسط چسب دو طرفه یا به‌صورت مستقیم است و یا باید پودر به‌گونه‌ای در مایع پراکنده شده و سپس روی پایه چسبانده شود [۳]. پودرها براساس اندازه، به دو دسته پودرهایی با اندازه ذرات کمتر از ۱ میکرون و پودرهایی با اندازه ذرات بیشتر از ۱ میکرون تقسیم می‌شوند. بر این اساس مراحل کلی آماده‌سازی آن‌ها به‌صورت زیر است [۲]:

پودرهایی با اندازه ذرات کمتر از یک میکرون

۱. کل پودر با استفاده از قاشقک[۵] هم زده می‌شود؛

۲. مقدار ناچیزی از نمونه پودر مورد نظر به یک مایع مناسب که روی ساختار و ترکیب شیمیایی نمونه تاثیر نداشته باشد، مانند اتانول، ایزوپروپانول و یا استن به‌گونه‌ای اضافه می‌شود که مایع از حالت شفاف بودن خارج شده و به شکل مات درآید و در واقع یک سوسپانسیون رقیق حاصل شود؛

۳. ظرف محتوی سوسپانسیون فوق، حداقل به مدت ۱۰ دقیقه، داخل التراسونیک قرار می‌گیرد؛

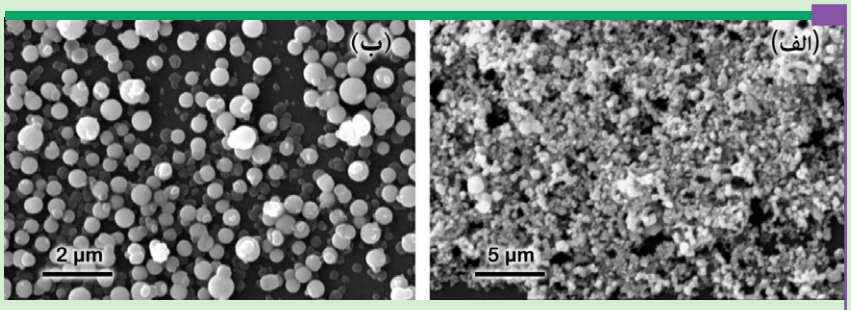
۴. بعد از اتمام التراسونیک یک یا دو قطره از سوسپانسیون با استفاده از قطره چکان و یا پی‌پت روی یک زیر پایه مناسب نظیر لام به ابعاد ۱cm×۱cm چکانده می‌شود؛

۵. بعد از خشک شدن کامل نمونه، لام حاوی نمونه روی پایه نمونه چسبانده می‌شود؛

۶. پوشش‌دهی طلا روی نمونه انجام می‌شود (استفاده از پوشش طلا حتی درصورت رسانا بودن پودر الزامی است زیرا لام حاوی نمونه نارساناست)؛

۷. اتصال الکتریکی بین نمونه و پایه نمونه ایجاد می‌شود.

در برخی موارد مشاهده شده‌است که به جای لام از فویل آلومینیومی به‌عنوان زیر پایه استفاده شده که باعث افزایش رسانایی نمونه می‌شود ولی ترجیح بر این است که از لام به‌عنوان زیر پایه استفاده شود چون ناهمواری‌های ریز و درشتی که در فویل آلومینیومی بوجود می‌آید خود عاملی برای آگلومره شدن نمونه پودری خواهد بود. شکل (۱) تاثیر آگلومره شدن ذرات پودری را بر کیفیت تصاویر مربوط به نمونه پودری نشان می‌دهد.



شکل ۱: اثر زمان آلتراسونیک الف) مدت زمان کم ب) مدت زمان بیشتر.

پودرهایی با اندازه ذرات بیشتر از یک میکرون

۱. کل پودر با استفاده از قاشقک هم زده می‌شود؛

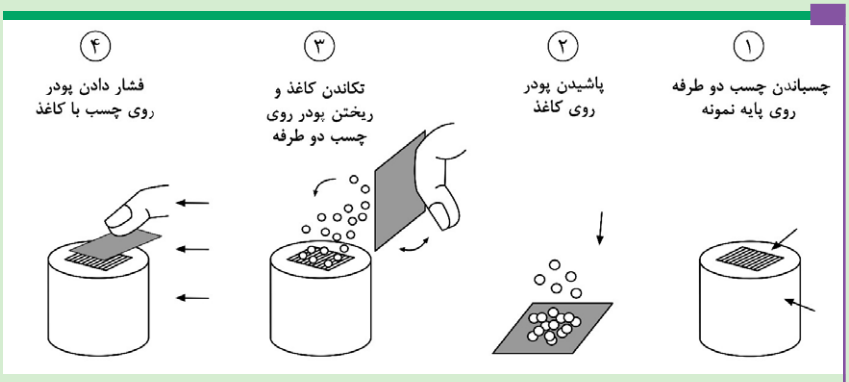
۲. مقداری از پودر روی یک کاغذ تمیز و نرم ریخته می‌شود؛

۳. ذرات درشت نمونه جدا شده و ذرات ریزتر روی چسب کربنی واقع بر پایه نمونه پاشیده می‌شود؛

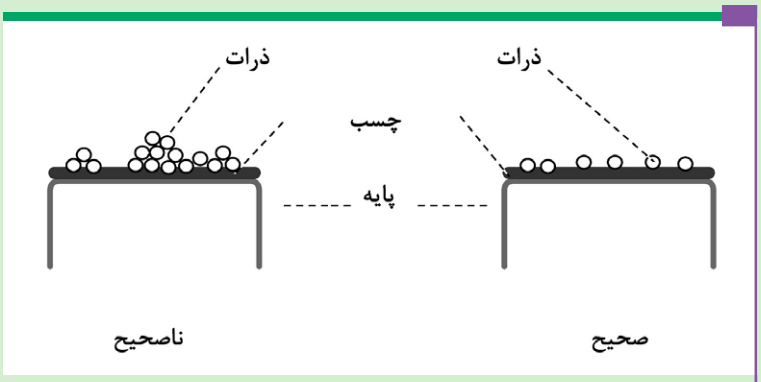
۴. پایه نمونه کاملاً تکانده شده و در معرض دمش ناچیز هوا قرار می‌گیرد تا ذراتی که به چسب کربنی نچسبیده‌اند جدا شده و مشکلی برای خلأ دستگاه ایجاد نشود؛

۵. درصورت نیاز (نارسانا یا نیمه‌رسانا بودن نمونه) پوشش‌دهی روی نمونه انجام می‌گیرد.

در شکل (۲) مراحل چسباندن پودر روی پایه نمونه برای پودرهای با اندازه بیش از ۱ میکرون نشان داده شده‌است. شکل (۳) نیز طرح کلی چسباندن صحیح و چسباندن بد نمونه پودری را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مراحل چسباندن نمونه پودری با ذرات بزرگ‌تر از ۱ میکرون روی پایه نمونه [۲].

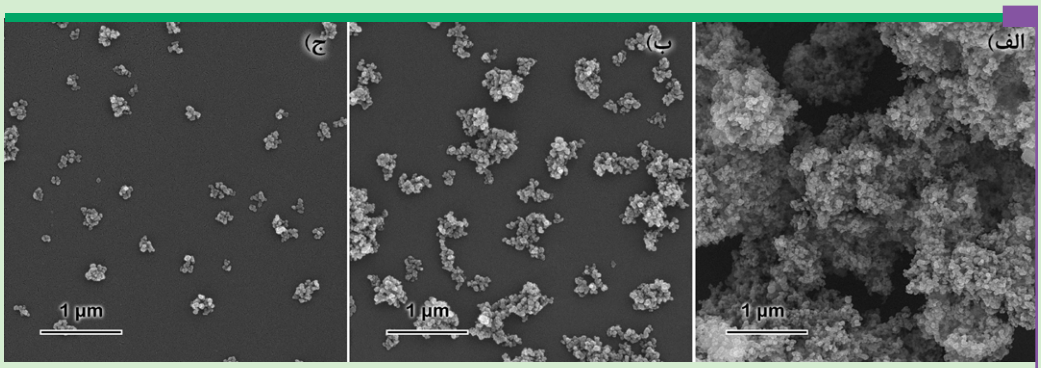


شکل ۳: طرح کلی چگونگی درست و نادرست چسباندن پودر [۴].

بررسی عملی اثر آماده‌سازی

به‌منظور بررسی اثر نوع التراسونیک روی دیسپرس شدن نانو پودرها، سه نمونه از نانوپودر به روش‌های مختلف آماده‌سازی شد TiO_2 (sigma Aldrich, <100 nm (BET), 13463677) و مورد بررسی قرار گرفت. نمونه اول به‌صورت مستقیم روی چسب کربنی چسبانده شد (مطابق شکل ۲)، نمونه دوم و سوم با غلظت‌های یکسان ۰/۱ درصد در استون دیسپرس شدند با این تفاوت که نمونه دوم با استفاده از التراسونیک حمامی و نمونه سوم با التراسونیک پروبی و به مدت ۵ دقیقه دیسپرس شدند. سپس سوسپانسون حاصل روی لام شیشه‌ای چکانده و پس از خشک شدن، روی نمونه‌ها پوشش طلا داده شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی حاصل از هر سه نمونه در شکل (۴) ارائه شده‌است.

مشاهده می‌شود که پودر چسبیده شده روی چسب کربنی به شدت آگلومره بوده و پراکندگی پودر مورد آزمایش با استفاده از التراسونیک پروبی بهتر از التراسونیک حمامی است.



شکل ۴: تصاویر SEM حاصل از نانوپودر TiO_2، الف) چسبانده شده روی چسب کربنی، ب) دیسپرس شده در استون با استفاده از التراسونیک حمامی، ج) دیسپرس شده در استون با التراسونیک پروبی.

نتیجه‌گیری

بطورکلی، به‌منظور بهبود کیفیت نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی، آماده‌سازی مناسب نمونه بسیار حائز اهمیت است. این امر در مورد پودرها بویژه پودرهای در اندازه نانومتری که امکان آگلومره شدن شدید وجود دارد، حساس‌تر است. برای پودرهای با اندازه ذرات نانومتری بهترین روش، پراکنده کردن مقدار اندکی از نمونه در یک مایع مناسب با استفاده از التراسونیک و سپس چکاندن سوسپانسیون حاصل روی لام یا فویل آلومینیومی و خشک کردن آن است. همچنین مشاهده شد که برای جدا کردن آگلومره‌های نانوپودر، عملکرد التراسونیک پروبی در مقایسه با حمامی مناسب‌تر است.

پی‌نوشت

۱. پژوهشگاه مواد و انرژی، کارشناسی ارشد مهندسی مواد و سرامیک
۲. مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، کارشناسی ارشد مهندسی مواد و متالورژی
۳. عضو کارگروه تخصصی میکروسکوپ الکترونی روبشی شبکه آزمایشگاهی

4. Agglomeration
5. Spatul

مراجع

[1] JosephI.Goldstein et.al,"Scanning Electron Microscopy & X-Ray Microanalysis" Third Edition, Kluwer academic/Plenum Publishers, New York Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2003.

[2] SEM Q & A, JEOL serving advanced technology.

[3] Scanning Electron Microscope A to Z, JEOL serving advanced technology.

[4] A guide to Scanning Electron Microscope Observation, JEOL serving advanced technology.

فصلنامه تخصصی دانش آزمایشگاهی ایران سال پنجم ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶ ■ شماره پیاپی ۱۸

گرماسنجی روبشی تفاضلی با رویکردی کاربردی

نویسنده

پدرام ملائکه[۱]

pedrammalaekeh@yahoo.com

واژه‌های کلیدی

تجزیه حرارتی،گرماسنجی روبشی تفاضلی، جریان حرارتی، ظرف آزمون، داده‌های آزمون.

چکیده

از جمله پرکاربردترین روش‌های تجزیه حرارتی، گرماسنجی روبشی تفاضلی[۲] است که از نظر طراحی فرآیندها و تعیین خواص محصولات اهمیت زیادی دارد. طبق نظر کنفدراسیون بین‌المللی تجزیه حرارتی و گرماسنجی[۳]، گرماسنجی روبشی تفاضلی یک روش تجزیه حرارتی است که طی آن نمونه‌ای که در معرض تغییر دمای کنترل شده قرار دارد، چگونگی تغییر خواص حرارتی آن به‌عنوان تابعی از دما، بطور پیوسته اندازه‌گیری می‌شود. در این مقاله، به کلیات این روش به علاوه کاربردهای گسترده آن پرداخته، سپس گرماسنج DSC و عوامل آن معرفی شده و در ادامه شناسایی پلیمرها، انتخاب ظروف آزمون مناسب هر نمونه به تفکیک انواع نمونه و همین طور ظروف آزمون برای آزمون‌های ویژه، داده‌های آزمون، بهبود و بهینه‌سازی آنها با ارائه نتایج یک پژوهش انجام شده با کاربرد روش بهینه‌ساز تاگوچی، روش‌های نوین DSC و انواع دستگاه‌های مرتبط، بررسی خواهد شد. از نتایج کاربرد روش تاگوچی می‌توان به شناخت سرعت پویش مطلوب، نوع ظرف آزمون مناسب، نوع و دبی گاز عملگر مصرفی،گرادیان دمایی ایجاد شونده و نقش مدت زمان لازم برای عبور حرارت از دیواره ظرف و شناساگر در دقت اعداد اندازه‌گیری شده و قدرت نتایج اشاره کرد.

مقدمه

هدف از گرماسنجی، اندازه‌گیری حرارت بوده و اندازه‌گیری حرارت نیز به معنی تبادل حرارت است. تجزیه و اندازه‌گیری‌های حرارتی از اواسط قرن هجدهم میلادی در حال انجام است. گرماسنجی روبشی تفاضلی به معنی سنجش و اندازه‌گیری تغییر تفاوت در نرخ جریان حرارتی به نمونه و به یک نمونه مرجع است در حالی که آنها تحت یک برنامه دمایی کنترل شده باشند [۱].

به لحاظ تاریخی تحولات دمایی در مواد، اولین بار بطور جدی در صنعت سرامیک در سال‌های ۱۸۰۰ با استفاده از تجزیه حرارتی تفاضلی[۴] مورد مطالعه قرار گرفت. این کار ابتدایی با قرار دادن یک ترمومتر در ماده و حرارت‌دهی آن در آون، انجام شد. مشکلات جدی و اساسی در این کار وجود داشت و قرار دادن ترمومتر اغلب تکرارپذیر نبود. این موضوع از طریق بهبودی که بوئرسما[۵] در تجزیه‌گر حرارتی تفاضلی با ترموکوپل ثابت انجام داد، حل شد. تجهیزاتی از این دست امروزه نیز رایج هستند که تجزیه‌گر حرارتی تفاضلی بوئرسما[۶] نامیده می‌شوند [۲]. در سال ۱۹۰۴ ثبات حساس به نور توسط سالادین[۷] توسعه یافت که با استفاده از آن تفاضل دمای ماده مرجع و دمای نمونه در مقابل دمای نمونه در هر لحظه ثبت می‌شد [۳].

در دهه ۱۹۶۰، مایک اونیل[۸] از شرکت پرکین المر[۹] اولین DSC دارای محفظه کوره دوگانه با توان کنترل شده را برای اندازه‌گیری جریان حرارتی، حرکت گرما به داخل و خارج نمونه بطور مستقیم، تهیه کرد. این ابزار از یک حلقه و مدار پس خور برای نگهداری نمونه در یک دمای تنظیم شده استفاده می‌کرد در حالی که توان مورد نیاز برای انجام این کار را در مقابل یک محفظه کوره مرجع محاسبه می‌کرد. این موضوع اجازه می‌داد تا کنترل بسیار دقیقی از دما، اندازه‌گیری بسیار دقیق آنتالپی و ظرفیت حرارتی و اجرای فرآیند هم دما صحیح و واقعی صورت پذیرد. بدلیل سنجش مستقیم دما با این ابزار، اغلب آن را DSC جریان حرارتی[۱۰] می‌نامند.

یک Boersma DTA می‌تواند با تنظیم‌های صحیح برای محاسبه جریان حرارتی بکار رود و علاوه بر آن، با روش DSC به کار گرفته شود. این کار با اندازه‌گیری اختلاف‌های دمایی و یا شار حرارتی و تغییرات بین نمونه و مرجع انجام می‌شود. این ابزارها گاهی اوقات دستگاه‌های DSC شار حرارتی[۱۱] نامیده می‌شوند [۴].

گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)

گرماسنجی روبشی تفاضلی روش تجزیه حرارتی است که چگونگی تغییر ظرفیت حرارتی در فشار ثابت[۱۲] را با دما پایش می‌کند. یک نمونه با جرم مشخص گرم یا سرد شده و تغییرات ظرفیت حرارتی آن با تغییرات در جریان حرارتی دنبال می‌شود. این موضوع اجازه به بررسی و ردیابی تحولاتی مثل ذوب، دمای انتقال حرارتی، تغییرات فازی و پخت را می‌دهد. بزرگترین فایده DSC، سرعت و سهولت کار با آن است که می‌تواند برای دیدن تحولات در مواد به کار رود. در هنگام کار با مواد پلیمری از هر نوعی، دانستن دمای انتقال شیشه‌ای[۱۳] برای درک درستی از ماده مهم است. در بلورهای مایع، فلزات، داروها و مواد آلی خالص، شما می‌توانید تغییرات فازی یا چند شکل بودن را ببینید و درجه خلوص را در مواد مطالعه کنید. همچنین اگر شما موادی را فرآیند یا تقطیر می‌کنید، دانستن ظرفیت حرارتی مواد و تغییرات میزان گرما (آنتالپی) می‌تواند برای محاسبه اینکه چگونه فرآیند شما اجرا شود، به کار رود [۴].

گرماسنج روبشی تفاضلی ابزاری اساسی و مهم در تجزیه حرارتی است. اطلاعاتی که این ابزارها تولید می‌کنند برای درک رفتار بلوری و آمورف، انتقالات و حالات گذار چند شکلی و یوتکتیک، پخت و درجه آن و بسیاری خواص مواد دیگر که برای طراحی، ساخت و آزمون محصولات به کار می‌روند، کاربرد دارد [۴].

ظرفیت حرارتی در فشار ثابت (Cp)

ظرفیت حرارتی مقدار انرژی است که یک واحد جرم می‌تواند نگه داشته و حفظ کند. تمام مواد افزایش در ظرفیت حرارتی را با دما نشان می‌دهند. همان‌طور که ظرفیت حرارتی با دما افزایش می‌یابد، منحنی آزمون DSC یک نمونه واقعی باید یک شیب خفیف و ملایم به سمت بالا را به سوی یک دمای بالاتر نشان دهد. همچنین یک تغییر پله‌ای در خط مبنا در طی فرآیند ذوب وجود دارد که به دلایل بالاتر بودن ظرفیت حرارتی یک ماده مذاب نسبت به یک ماده جامد است. طبیعتاً یک پیک قوی این ویژگی‌ها را کوچک جلوه خواهد داد [۴].

اهمیت اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای(Tg)

دمای انتقال شیشه‌ای به‌عنوان نقطه ذوب یک ماده آمورف نامیده می‌شود. مواد آمورف ساختاری تصادفی دارند. در بعضی نقاط انرژی کافی در ماده وجود دارد تا قابل تحرک و حرکت

باشد. در مقایسه با افزایش خط مبنا مقدار منصفانه‌ای انرژی برای این کار لازم است البته کمتر از انرژی نقطه ذوب مورد نیاز است. این انرژی عموماً به‌صورت یک تغییر پله‌ای در خط مبنای دستگاه نمایان می‌شود که به‌صورت بالا رفتن در دستگاه‌های جریان حرارتی و پایین رفتن در دستگاه‌های شار حرارتی است. در پلیمرهای نیمه‌بلوری و غیربلوری از هر نوعی دمای انتقال شیشه‌ای بهترین نمایانگر خواص مواد است. چنانکه تغییرات دمای انتقال شیشه‌ای به درجات مختلف پلیمری شدن و یا اصلاحات توسط افزودنی‌ها و تغییر خواص فیزیکی مواد وابسته است. به‌طور مشابه، خواص مواد نیز در بالاتر از نقطه Tg به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌یابد [۴].

سنجش فرآیند ذوب با DSC

اندازه‌گیری نقطه ذوب با استفاده از تجهیز DSC، دمای ذوب را از یک سیستم بسیار دقیق و تنظیم شده می‌دهد. وقتی نقطه ذوب در تجهیز DSC اندازه‌گیری می‌شود، دستگاه تنها نقطه ابتدایی و شروع ذوب[۱۴] را به ما نمی‌دهد بلکه علاوه بر آن دمای پیک را که برای مواد آلی، معادل ذوب کامل و انرژی که تحول ذوب نیاز دارد تا انجام پذیرد، ارائه می‌کند. این انرژی، آنتالپی تحول و تغییر حالت است و با درجه تبلور و میزان بلوری بودن مواد مرتبط است. استانداردهای ICTAC می‌گویند که شما باید نقطه شروع پیک ذوب را به‌عنوان نقطه ذوب برای فلزات، مواد آلی و مواد مشابه و اما مقدار پیک را برای پلیمرها در نظر گرفته و به کار ببرید. اضافه بر آن شما می‌توانید با استفاده از آنتالپی ذوب هر دو درجه بلوری بودن و خلوص مواد را تخمین بزنید [۴].

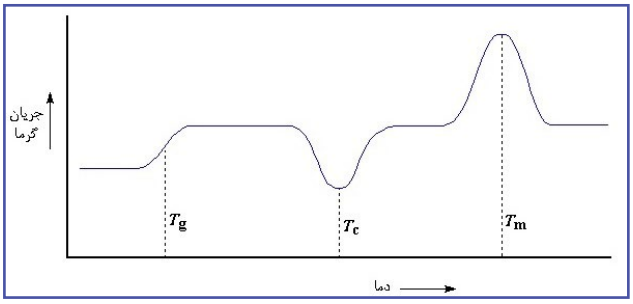
جدول (۱) انواع تحولات که با استفاده از DSC شناسایی می‌شود را به تفکیک صنعت و کاربرد آن نشان می‌دهد.

شناسایی پلیمرها با استفاده از DSC

DSC روشی است که جریان گرما از نمونه را به‌عنوان تابعی از درجه حرارت و یا زمان اندازه‌گیری می‌کند. این روش اجازه می‌دهد تا تحولات فیزیکی و واکنش‌های شیمیایی به‌صورت کمی اندازه‌گیری شوند. در دستگاه DSC، دو جایگاه وجود دارد. یکی برای قرار دادن نمونه آزمون و دیگری برای شاهد که معمولا هوا است. به هر دو جایگاه مقداری انرژی گسیل می‌شود تا هر دو در دمایی ثابت باقی بمانند. بنابراین، اگر در نمونه مورد نظر پدیده‌ای گرمازا (کریستالیزاسیون) یا گرماگیر (ذوب و دمای انتقال شیشه‌ای) اتفاق بیفتد، برای یکسان کردن دمای نمونه با شاهد، مقداری انرژی به نمونه داده شده یا گرفته می‌شود. بدین صورت مقدار انرژی واکنش گرمازا یا گرماگیر بر حسب تابعی از دما رسم می‌شود. تصویر (۱) دمای انتقال شیشه‌ای، کریستالیزاسیون و ذوب را نشان می‌دهد. مقادیر این عوامل در مراجع مختلف برای پلیمرهای گوناگون آورده شده‌است [۴].

جدول ۱: تحولات و تغییرات در صنعت [۴].

نوع صنعت	تحول و تغییر حالت	هدف
دارو	Tg	دمای انبارش و نگهداری و خراب شدن، محتوای آمورف
	Cp	شرایط فرایندی
	Tm	گونه‌های پلی مورفیک، خلوص، کنترل کیفیت
پلیمر	Tg	نمایانگر خواص ماده، کنترل کیفیت تاثیر افزودنی‌ها
	Tm	فرایندپذیری پلیمر، تاریخچه حرارتی
	گرمازا	نرخ واکنش‌ها،پخت مواد، باقیمانده پخت
	Cp	انرژی لازم برای فرایند
	Tc^{15}	زمان‌های کریستالیزاسیون مجدد، سینتیک
غذا	Tg	دمای انبارش و نگهداری، خواص
	Tm	دمای فرایندپذیری



شکل ۱: دماهای انتقال شیشه‌ای، کریستالیزاسیون و ذوب در منحنی DSC [۳].

راهنمایی برای انتخاب ظروف آزمون نمونه گرماسنجی روبشی تفاضلی

سنجش DSC نیازمند آن است که نمونه‌ها در ظرف آزمون نمونه، برای پیشگیری از تماس مستقیم بین نمونه و محفظه کوره و یا حسگر محصور شوند. زیرا اگر نمونه‌ها در تماس با محفظه کوره و یا حسگر قرار گیرند، مشکلاتی می‌تواند در خط

مبنا رخ دهد یا حافظه انجام آزمون تحت تاثیر قرار گرفته و به محفظه کوره و یا حسگر خسارت وارد کند و در بدترین حالت محفظه کوره و یا حسگر از بین خواهد رفت [۵]. ظروف آزمون براساس ماهیت نمونه‌های آزمون، دسته‌بندی می‌شوند. تصویر (۲) درپوش، ظروف آزمون و درزبند آنها را نشان می‌دهد.

شکل ۲: درپوش، ظرف آزمون و درزبند برای دستگاه DSC [۵].

جامدات و پودرها (غیرقابل تجزیه، تصعید و تبخیر شدن)

ظروف آزمون و درپوش‌های آلومینیومی استاندارد می‌تواند برای جامدات و پودرهایی که در محدوده دمایی ۱۷۰°C- تا ۶۰۰°C تجزیه نمی‌شوند و به جوش نمی‌آیند، به کار رود. آنها در محدوده بالای ۶۰۰°C نباید استفاده شوند، چرا که به محدوده ذوب آلومینیوم نزدیک می‌شوند. این ظروف آزمون همچنین می‌توانند برای فلزات و برای مواد غیرآلی در صورتی که با آلومینیوم واکنش ندهند، به کار رود. ظروف آزمون استاندارد برای مایعات به دلیل تبخیر پیوسته آنها مناسب نیستند. علاوه‌بر آن ظروف آزمون استاندارد برای گازها یا مواد کرم شکل مناسب نیستند چون آنها می‌توانند به خاطر سیالیت زیاد از ظروف آزمون سرریز شده و بیرون بریزند. درصورت عدم امکان کاربرد ظروف آلومینیومی باید از ظروف آزمون استاندارد و درپوش‌های از جنس مس، طلا، گرافیت و آلومینا استفاده شود [۵].

جامدات، پودرها (آنهایی که تجزیه، تصعید و تبخیر می‌شوند)، مایعات

به‌منظور جلوگیری از تجزیه، تصعید، تبخیر باید از ظروف آزمون آلومینیوم سبک که محدوده وسیعی از ابعاد، حجم‌ها و فشارها دارند، استفاده کنیم. آزمون‌هایی وجود دارند که انجام آنها نیازمند دستیابی به فشارهای بالا و تحمل چنین فشارهایی از سوی ظروف آزمون هستند، برای مثال دگرگون ساختن خواص فیزیکی و فیزیولوژیکی پروتئین‌ها با حرارت در محلول آب. در این موارد پیشنهاد می‌شود که ظرف آزمون نمونه از جنس فولاد ضدزنگ با حجم زیاد استفاده شود [۵].

این ظروف آزمون نمونه در عمل یک اتوکلاو کوچک هستند که شامل یک پایه، یک واشر و یک درپوش بوده و با جنس فولاد ضدزنگ، فولاد ضدزنگ با روکش طلا و تیتانیوم با واشرهای از جنس مشابه موجود هستند. ظروف آزمون فشار بالا تنها ظروف آزمون قابل استفاده مجدد قابل ارائه هستند، تمامی ظروف آزمون دیگر غیرقابل بازیافت هستند به استثناء ظروف آزمون استاندارد با جنس طلا و آلومینا که می‌توانند تمیز و دوباره استفاده شوند. با در نظر گرفتن جرم این ظروف آزمون، نرخ گرمایش نباید از ۲۰ °C/min فراتر رود.

اندازه‌گیری‌های ویژه و پیشنهادات

سنجش گرمای نهان تبخیر

به‌دلیل تبخیر مایعات در تمام دماها، تنها راه محاسبه گرمای نهان تبخیر، استفاده از ظروف آزمون نمونه سبک، نمونه بردار خودکار با درپوش‌های منفذدار و پرس معمولی است.

آزمون زمان القاء اکسایش[۱۶] و مقایسه دو نوع ظرف آزمون برای انجام آن

بهترین راه حل استفاده از ظروف آزمون آلومینیوم استاندارد بدون درپوش است. آزمون زمان القاء اکسایش می‌تواند در ظروف آزمون آلومینیوم استاندارد و یا در ظروف آزمون مسی روباز براساس استاندارد ASTM D 3895 انجام پذیرد و مشخص شود. اندازه‌گیری OIT پلی اتیلن دانسیته بالا یا سنگین[۱۷] نشان می‌دهد که در شرایط ایزوترمال اکسیداسیون آن تقریباً ۲۳ دقیقه زودتر در ظرف آزمون مسی نسبت به نوع آلومینیومی شروع شده‌است [۶].

اندازه‌گیری در ظروف دارای قابلیت تحمل فشار بالا

برنامه کاربردی بسیار معمول، آزمون اکسیداسیون تحت فشار است. در این مورد محفظه کوره تحت فشار بوده و فشار به نمونه محصور شده وارد می‌شود. ظرف آزمون نباید به‌صورت کامل محصور و درزبندی شده باشد و باید به جابجایی گاز اجازه داده شود. ظروف آزمون نمونه برای استفاده در این مورد، ظروف آزمون آلومینیوم استاندارد برای جامدات و یا ظروف آزمون سبک آلومینیوم برای نمونه‌بردار خودکار با درپوش‌های منفذدار برای مایعات هستند [۵].

در نظر گرفتن شکل و مقدار نمونه

زمانی که از ظروف آزمون استاندارد و جامدات استفاده می‌شود، بهتر است از قطعات بسیار کوچک که روی کف ظرف آزمون توزیع شده‌اند و یا از فیلم‌های باریک استفاده و سعی

شود که بیشتر از نصف ارتفاع ظرف آزمون پر نشود. وقتی که از ظروف آزمون آلومینیوم سبک با درپوش‌های منفذدار استفاده می‌شود، از یک اندازه کوچکتر نمونه برای پیشگیری از سرریز آن از منفذ درپوش که می‌تواند در حین ذوب رخ دهد، استفاده شود. همچنین زمانی که از ظروف آزمون آلومینیوم سبک دارای درزبند استفاده می‌شود، باید با نمونه پر شود تا از حضور هوای محبوس که می‌تواند باعث تغییر شکل ظرف آزمون در اثر انبساط بدلیل افزایش دما شود جلوگیری کند [۵].

بدست آوردن داده‌های خوب

در آغاز، دانستن اینکه داده‌های خوب به چه داده‌هایی اطلاق می‌شود برای بدست آوردن آنها مهم است. داده‌های خوب نیازمند حداقل یک تنظیم معتبر با استانداردهای مناسب، یک خط مبنای صاف و تفکیک منطقی پیک نمونه از هر اختلالی که در خط مبنا وجود دارد بوده و باید داده‌ها تکرارپذیر و تجدیدپذیر نیز باشند. انجام تنظیم به این معنی است که دستگاه با استانداردهای شناخته شده تنظیم و بررسی شده و مقادیر منطقی ارائه می‌دهد. خط مبنا باید صاف، فاقد برجستگی یا لبه، یک خط تخت و تکرارپذیر باشد [۴].

بهبود دادن داده‌ها و بهینه‌سازی شرایط اندازه‌گیری DSC

چندین راه برای بهبود یک سیگنال ضعیف وجود دارد. می‌توان مقدار نمونه را افزایش داد، می‌توان نمونه مشابه را با سرعت بیشتری آزمون کرد و یا از یکی از روش‌های پیشرفته‌تر استفاده کرد که در ادامه توضیح داده می‌شود. البته باید به خاطر داشت که اگر سایز نمونه یا نرخ پویش و یا هر دو را افزایش دهیم، تفکیک‌پذیری در داده‌ها کاهش می‌یابد. یک نمونه بزرگتر بطور ایده‌آل باید در نرخ پایین‌تر آزمون شود و آزمون نمونه در نرخ‌های بالاتر نیاز به مقدار کمتری از آن دارد. هر دو اینها به ما کمک می‌کند چرا که جریان حرارتی تابع جرم نمونه و نرخ پویش آن است. در برخی موارد یک ظرف آزمون تخصصی‌تر می‌تواند پاسخ مناسبی ارائه دهد [۴].

شرح و نتایج پژوهش بهبود داده‌ها و بهینه‌سازی شرایط اندازه‌گیری DSC در ادامه آمده است. پلیمرهای نیمه‌بلوری، معمولاً توسط منحنی‌های حرارتی DSC توصیف می‌شوند و مقادیر عددی بدست آمده شامل دمای پیک و مساحت پیک (گرمای ذوب) است. نتایج تا حدودی به عوامل اندازه‌گیری واقعی به کار رفته، بستگی دارد. اما حتی در شرایط ظاهراً یکسان، اختلافات معینی در نتایج می‌تواند مشاهده شود. هدف از این کار، تعیین عوامل بهینه اندازه‌گیری با استفاده از یک گروه از اندازه‌گیری‌های ظریف بود [۷].

جزئیات تجربی روش شامل کاربرد استاندارد ISO 11357-1, 1999 به‌عنوان مبنای اندازه‌گیری‌ها، دستگاه گرماسنج روبشی تفاضلی معین[۱۸] و ظرف آزمون آلومینیومی استاندارد با حجم ۴۰ µl همراه با درپوش بود. نمونه‌ها ۲ فوم پلی‌اتلین بدون حفره بودند که به‌صورت قرصی شکل از نقاط نزدیک به هم تهیه شده بودند. دانسیته نمونه‌های مورد بررسی به شرح جدول (۲) بود.

جدول ۲: دانسیته نمونه‌های مورد بررسی [۷].

ردیف	مشخصات نمونه	دانسیته نمونه kg/m^3
۱	LDPE	۹۰/۷
۲	LDPE-EVA	۸۷/۶
۳	PA(film)	۱۲۷۲

اندازه‌گیری DSC به‌صورت حرارت‌دهی از ۴۰°C- تا ۲۰۰°C (فوم) یا ۴۰°C- تا ۳۲۰°C (پلی آمید) بود. آزمایش‌های مقدماتی بدین شکل انجام شد که فوم‌های LDPE-EVA سه مرتبه در شرایط یکسان (۲/۵ mg از نمونه، نرخ ۱۰°C/min و دبی نیتروژن ۱۰۰ ml/min) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. دمای پیک LDPE و گرمای ذوب محاسبه شدند. نتایج با سطح اطمینان ۹۵ درصد بدست آمدند.

تجدیدپذیری گرمای ذوب، به اندازه کافی برای توصیف نمونه‌ها مناسب نبود. به این دلیل یک پروژه بهبود یافته برای شناسایی عوامل اندازه‌گیری که روی تجدیدپذیری تاثیر می‌گذارند و در نتیجه باید بهینه‌سازی شوند، انجام پذیرفت.

روش تاگوچی[۱۹]

روش تاگوچی برای تشخیص و شناسایی عوامل بهینه برای گرمای ذوب و دمای پیک با اندازه‌گیری‌های به نسبت کم استفاده شد. روش تاگوچی تاثیر تمام عوامل را روی یک فرآیند محاسبه می‌کند [۸]. در این مورد این عوامل از تمام عوامل ممکن که می‌تواند اندازه‌گیری را تحت تاثیر قرار دهد تشکیل شده‌است، آنها به ۲ گروه تقسیم می‌شوند:

۱. عوامل کنترلی، آنهایی که می‌تواند تحت کنترل کامل قرار گیرد؛ مانند نرخ حرارت‌دهی وغیره.

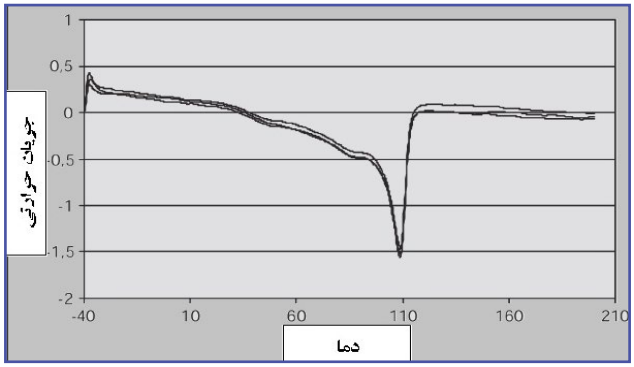
۲. عوامل اختلال مانند آنهایی که تاثیرات ناخواسته مثل انتقال حرارت غیرتجدیدپذیر بین ظرف آزمون و نمونه و یا تغییرات در دمای محیط دارند. عوامل تاثیرگذار مختلفی در برنامه‌های کاری تیم آنالیز حرارتی کار شد (جدول ۳).

فوائد انحصاری آن این واقعیت است که بعد از بهینه‌سازی تاگوچی، اندازه‌گیری‌ها بسیار قوی هستند؛ به‌عنوان مثال، نتایج نسبت به عوامل خارجی مثل تغییرات در شرایط محیطی، نسبتاً غیرحساس هستند (تصویر ۳). هر نوع فرآیندی می‌تواند با این روش بهینه شود [۹].

بعد از اینکه تمام عوامل شناسایی شدند، مقادیر منطقی به حداقل ۲ گروه از عوامل به شکل جدول (۴) باید اختصاص داده می‌شد:

جدول ۳: گام‌های فرآیند و عواملی که آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۷]

عوامل اختلال	عوامل کنترل	مرحله فرآیند
تاریخچه ترمودینامیکی نمونه	-	ثبت نمونه
-	زمان راه‌اندازی	روشن کردن DSC
-	محدوده دما، تنظیم دما، تنظیم جریان حرارتی	تنظیم
تغییر در نمونه نسبت به فشار و یا آلودگی	هندسه نمونه	برش نمونه
خطا به دلیل نوسان دما یا خطای خواندن	نوع ترازو (کوچک-نیمه کوچک یا آنالیتیک)	سنجش وزن
تمیز بودن، نوع ظرف آزمون مرجع	نوع ظرف آزمون	ظرف آزمون
الحاق ظرف آزمون و درپوش محفظه کوره به‌صورت دستی، خطاها، اختلالات مکانیکی	محدوده دمایی، نرخ حرارت دهی، نوع گاز خالص و دبی آن، نوع درپوش محفظه کوره (DSC30)، ذخیره‌سازی داده‌های اندازه‌گیری	انجام اندازه‌گیری و سنجش
ندارد	محدوده دمایی، نوع خط مبنا	ارزیابی



شکل ۳: سه منحنی DSC مربوط به فوم LDPE-EVA که در شرایط بهینه اندازه‌گیری شده‌است [۷].

جدول ۴: گام‌های فرآیند و عواملی که آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۷]

سطح ۲	سطح ۱	عوامل کنترلی
۴ نقطه (n - اکتان، آب،In,Zn)، -۱۰۰...+۵۰۰ °C	۳ نقطه (In, Zn,Pb)، -۱۰۰...+۵۰۰ °C	تنظیم دما، (محدوده)
۳ نقطه (n-اکتان، Zn، In)	نقطه (In)	تنظیم جریان حرارتی
۱ ساعت	ندارد	زمان راه‌اندازی DSC
سطح دلخواه	سطح تخت	هندسه نمونه
تخت	ارتفاع متوسط	درپوش محفظه کوره
۵ K/min	۱۰ K/min	نرخ حرارت‌دهی
۱۰ mg	۲ mg	وزن نمونه
هوا	نیتروژن	گاز پاک کننده
۶۰ ml/min	۱۲۰ ml/min	نرخ گاز پاک کننده
دورتر (در هر دو طرف) به میزان ۱۰۰C	نزدیک پیک براساس (ISO11357)	حدود انتگرال

اندازه‌گیری‌های DSC بعداً برای محاسبه بهینه‌سازی تاگوچی بر مبنای نتایج انجام شد. در حقیقت یک اندازه‌گیری کلی ۲۴ واحدی باید برای بهینه‌سازی انجام می‌شد که طبیعتاً در مقایسه با هزاران ترکیب ممکن یک عدد کوچک است. اندازه‌گیری‌ها به فوم LDPE و PA66 محدود شده بودند، چون خواص حرارتی آنها به اندازه کافی متفاوت بودند تا تضمین کنند نتایج می‌تواند برای انواع نمونه‌های متفاوت نیز به کار رود. با استفاده از روش تاگوچی، عواملی همچون وزن نمونه، نوع گاز پاک کننده و نرخ حرارت‌دهی، به‌عنوان آنهایی که بیشترین تاثیر را بر نتایج داشتند، شناسایی شدند. همچنین عواملی شامل وزن نمونه، نیتروژن به‌عنوان گاز پاک کننده، نرخ جریان گاز پاک کننده، نرخ حرارت‌دهی، تنظیم دمایی ۴ نقطه‌ای، تنظیم جریان حرارتی ۳ نقطه‌ای نیز برای بهینه‌سازی شناسایی شدند. در مقام مقایسه تاثیر تمام عوامل دیگر کوچک و جزئی بود.

به‌عنوان یک آزمون تصدیق کننده، فوم LDPE-EVA سه مرتبه در شرایط بهینه اندازه‌گیری شد. تجدیدپذیری منحنی‌های DSC در عمل بهتر بود. عوامل بطور اصلی انتخاب شده بودند و سطح اطمینان برای گرمای ذوب به ۲/۵ درصد بهبود یافت. روش تاگوچی، عواملی که روی اندازه‌گیری تاثیر دارند را شناسایی و وزن‌سنجی می‌کند. درک بهتر این عوامل اجازه می‌دهد شرایط اندازه‌گیری بهینه شود. دقت گرمای ذوب بطور چشم‌گیری بهبود یافت. در کنار این، اندازه‌گیری به‌طور چشم‌گیری قوی‌تر بود.

DSC فشار بالا [۲۰]

HPDSC چندین کاربرد دارد. انجام راحت و سریع آزمون پایداری در برابر اکسیداسیون در فشارهای اتمسفری و انجام واکنش‌های دارای یک محصول جانبی و جلوگیری از ایجاد کف در نمونه که فشار بالا این مورد را سرکوب می‌کند. همین طور برخی سینتیک واکنش‌ها توسط فشار تحت تاثیر قرار می‌گیرد و اجرای واکنش تحت فشار کنترل شده برای مطالعه این تاثیر لازم است. نهایتاً تحولاتی مثل Tg و نقطه جوش نسبت به فشار واکنش نشان می‌دهند و عملکرد DSC تحت فشار به شما اجازه می‌دهد که این فرآیندها را مطالعه کنید و برای نقاط جوش، فشار بخار نمونه را نیز محاسبه کنید [۴].

DSC نوری یا DSC فرابنفش [۲۱]

UV-DSC برای اجازه دادن به نمونه برای قرارگیری در معرض تابش نور فرابنفش در حین آزمون، تجهیز شده‌است، همچنین اجازه می‌دهد تا مطالعه سیستم‌های درمانی و بهبود

دهنده مبتنی بر تابش نور فرا بنفش در DSC انجام شود. علاوه بر آن UV-DSC برای مطالعه تجزیه مواد تحت تابش نور فرابنفش به کار می‌رود. می‌توان سینتیک را برای مدل‌سازی تخریب با استفاده از نور فرابنفش به کار برد. بدلیل وجود شدت‌های بالا از نور فرابنفش انجام آزمون‌های تسریع یافته نیز ممکن است [۴].

انجام مطالعات سینتیک با DSC

مطالعات سینتیک در یک DSC می‌تواند با استفاده از روش‌های پویش کردن انجام شود، به شکلی که نمونه در یک شیب صعودی دمایی حرارت داده می‌شود یا به‌طور ایزوترم، در دمای معینی نگه داشته می‌شود. در مورد شیب صعودی دمایی، نرخ افزایش دما باید به سریع‌ترین حالت ممکن باشد تا تاثیر این مرحله تغییر دما را کاهش دهد. فایده استفاده از DSC برای مطالعات سینتیک، گرایش آن به سریع‌تر بودن نسبت به روش‌های دیگر است [۴و۱۰].

DSC دمای تعدیل یافته[۲۲]

MTDSC اصطلاحی عمومی برای روش‌های DSC است که یک نرخ گرمایش یا سرمایش غیرخطی برای نمونه به‌کار می‌برد تا داده‌های ترمودینامیکی را از سینتیکی جدا کند. در DSC از نوع پویش مرحله‌ای[۲۳]، این مورد با اعمال یک سری گام‌های کوچک گرمایش (یا سرمایش) که توسط یک مرحله هم دما دنبال می‌شوند، انجام می‌شود. این مسئله اجازه می‌دهد که شما اطلاعات را به یک منحنی Cp تعادلی که واکنش ترمودینامیکی نمونه را نشان می‌دهد و یک خط مبنا با سینتیک ثابت که واکنش سینتیک را نشان می‌دهد، تفکیک کنید و این موارد جداگانه محاسبه می‌شوند. این روش اختلالات سینتیکی مثل جهش آنتالپی را از تحولات و یا تداخل Tg را از پخت هم دما حذف می‌کند [۴و۱۰].

DSC پویش سریع[۲۴]

Hyper DSC و یا FDSC اصطلاح عمومی برای روش‌های DSC است که نرخ‌های گرمایش خیلی بالا را برای نمونه به کار می‌برند تا حساسیت را افزایش دهند و یا رفتار سینتیک را محبوس سازند. نرخ‌های گرمایش و پویش سریع در محدوده ۱۰۰ C/min تا ۳۰۰ C/min اعمال می‌شود و واکنش DSC به تحولات ضعیف افزایش می‌یابد. به این ترتیب مشاهده سطوح خیلی پایین مواد آمورف در داروها، اندازه‌گیری مقادیر کوچک محصولات طبیعی، انجماد ترکیبات گرماسخت، مهار کریستالیزاسیون سرد پلیمرها، همگی به خوبی تخریب حرارتی مواد آلی ممکن خواهد بود [۴و۱۰].

روش‌های پیوندی (اتصال با دیگر دستگاه‌ها) که با DSC کار می‌کنند

DSC به‌طور معمول دارای امکان اتصال به سایر دستگاه‌ها و اصطلاحاً پیوندی نیست اما به‌صورت پیوندی استفاده شده‌است. گرماسنج روبشی تفاضلی مادون قرمز[۲۵] برای بررسی حلال‌های استخراج کننده از داروها به کار رفته است در حالی که گرماسنج روبشی تفاضلی همراه با طیف‌سنج جرمی[۲۶] برای بررسی ترکیبات سنگ‌ها و اجرام آسمانی استفاده شده‌است.

DSC همچنین با طیف‌سنج مادون قرمز همراه با تبدیل فوریه[۲۷] میکروسکوپی برای بررسی تغییرات در یک نمونه حین آزمون DSC متصل شده‌است. روش کار پیوندی که بسیار امیدوار کننده بود، گرماسنجی روبشی تفاضلی همراه با طیف‌سنجی رامان[۲۸] است که در آن نمونه با لیزر رامان تحت تابش قرار می‌گیرد و هم‌زمان در قسمت و مقطع DSC آزمون می‌شود. بدلیل طبیعت طیف‌سنج رامان، بطور ایده‌آل برای این موضوع مناسب است، به طوری که نیاز به هیچ طیف بازتابی و یا کاربرد یک سلول مسیر انتقال ویژه ندارد. DSC Raman پتانسیل بسیار زیادی برای مطالعه مواد پلی مورفیک، کریستالیزاسیون مجدد پلیمری، حرکات زنجیره‌ای در دمای انتقال شیشه‌ای و برای پلیمرهای پیوند هیدروژنی دارد [۴].

بررسی سازگاری استانداردهای (مواد) مرجع و مواد سازنده ظروف آزمون

جدول (۵) به موضوع واکنش احتمالی ظروف آزمون نمونه و مواد مرجع مورد استفاده در دستگاه‌های DSC پرداخته است [۱۱].

نمادها

O = آب‌بندی و درزبندی ظروف آزمون به راحتی ممکن نیست.

\+ = هیچ اثری بر دمای ذوب انتظار نمی‌رود، بدون انحلال‌پذیری.

\- = مذاب، ماده ظرف آزمون را حل می‌کند، دمای ذوب تغییر بیشتری می‌یابد.

* = فرآیندهای انحلال جزئی با تغییر ناچیز دمای ذوب ممکن هستند.

X = ظرف آزمون ذوب می‌شود.

? = سازگاری نامشخص است.

جدول ۵: بررسی و کاربرد نوع ظرف آزمون و واکنش احتمالی آن با ماده مرجع [۱۱].

مواد سازنده ظروف آزمون	مواد مرجع تنظیم										
	سیکلوپنتان	آب	گالیم	ایندیم	قلع	سرب	روی	سولفات لیتیم	آلومینیوم	نقره	طلا
کرندوم، Al_2O_3	O	O	+	+	+	+	+	+	+	+	+
نیترید بورون، BN	O	O	+	+	+	+	+	+	+	?	?
گرافیت، C	O	O	+	+	+	+	+	+	+	+	–
شیشه سیلیکاتی	+	+	+	+	+	+	?	+	–	X	X
شیشه کوارتز، SiO_2	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+
آلومینیوم	+	❊	–	+	–	+	–	+	X	X	X
آلومینیوم اکسید	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	X
نقره، Ag	+	+	–	–	–	–	–	?	–	X	X
طلا، Au	+	+	❊	❊	–	–	–	+	–	–	X
نیکل، Ni	+	+	❊	❊	❊	❊	❊	?	–	+	–
آهن، Fe	+	❊	❊	+	❊	+	–	?	–	+	–
فولاد ضدزنگ	+	+	❊	+	❊	+	–	?	–	+	–
پلاتینیوم،Pt	+	+	❊	❊	–	–	–	+	–	–	–
مولیبدنیوم،Mo	+	+	❊	?	❊	?	❊	?	?	?	–
تنتالوم، Ta	+	+	?	+	?	?	?	+	–	+	–
تنگستن،W	O	O	❊	?	?	❊	+	?	❊	+	+

نتیجه‌گیری

نکات کاربردی و ویژه مربوط به عملکرد دستگاه DSC و استفاده از آن به‌صورت ذیل جمع‌بندی شد.

تجهیزات کنترل گازهای ورودی آزمون در پشت دستگاه باید به‌صورت دوره‌ای کنترل شود. دبی گازهای مصرفی برای انجام یک آزمون مشخص با شرکت چند نوع گاز مختلف، باید یکسان باشد تا اختلالی در سیگنال ایجاد نشود. استفاده از بالاترین وزن نمونه به معنی انتخاب کمترین اثر حرارتی است؛ همچنین با افزایش نرخ حرارت‌دهی به کار رفته محدوده دمایی نیز برای سنجش ذوب افزایش می‌یابد. دمای اولیه آزمون باید چند درجه پایین‌تر از دمای محیط تعریف شود تا در سیگنال پایداری حاصل شود و به مدت حداقل ۳۰۰ ثانیه ادامه یابد تا طی یک فرآیند هم دما دستگاه به پایداری برسد [۱۲].

دمای ایمنی تعریف شده برای دستگاه حداقل ۲۰ درجه بالاتر از محدوده کاری در نظر گرفته شود. درصورت استفاده از ظروف آزمون کوچکتر و با ارتفاع کمتر، زمان پاسخ کمتر بوده و به دقت نتایج کمک شایانی می‌کند به علاوه کف ظرف آزمون مصرفی باید کاملاً صاف و مسطح باشد تا دستگاه نتایج دقیقی ارائه دهد. برای تمیز کردن حسگر و مبدل و همچنین ظروف آزمون، می‌توان آزمون را با ظروف خالی و بدون نمونه انجام داد [۱۳].

برای تنظیم دستگاه باید حداقل از سه استاندارد مرجع استفاده کرد. برای انجام تنظیم دقیق‌تر باید برای هر یک از مواد مرجع عملیات را تکرار کرد و نرخ گرمادهی و محدوده آن را تغییر داد [۱۴].

دمای انتقال شیشه‌ای یا Tg، تغییر خواص جامد به مایع ویسکوالاستیک است [۱۵]. می‌توان با یک نمونه مواد معتبر و یا استاندارد مرجع و گرمایش و سرمایش آن در دو مرحله متوالی منحنی‌های حاصله را برای موضوع تضمین کیفیت به کار برد. همچنین حرارت‌دهی و ذوب مجدد نمونه بعد از سرد کردن پیشنهاد می‌شود زیرا اطلاعات مفیدی ارائه می‌دهد و ذوب اولیه تنها یک شکل بسته از نمونه را ارائه می‌کندکه بیشتر برای تبادل حرارتی با مبدل مفید است [۱۶].

روش تاگوچی، عوامل موثر بر اندازه‌گیری را شناسایی و وزن‌سنجی می‌کند. سرعت پویش، نوع ظرف آزمون، نوع و میزان جریان گاز، گرادیان دمایی و زمان لازم برای عبور گرما از دیواره ظرف آزمون نمونه و شناساگر در اختلاف دمای نمونه مواد مرجع و آزمون موثر هستند. درک بهتر این عوامل اجازه می‌دهد تا شرایط اندازه‌گیری بهینه شوند. دقت روش‌ها به‌طور چشم‌گیری بهبود یابد و اندازه‌گیری‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای قدرتمند شوند.

پی‌نوشت

۱. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت صنایع پلاستیک جهاد زمزم مشهد

2. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

3. International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry (ICTAC)

4. Differential Thermal Analysis (DTA)

5. S.L. Boersma

6. Boersma DTA

7. Saladin

8. Mike O'Neil

9. Perkin Elmer

10. Heat Flow DSC

11. Heat Flux DSC

12. Specific Heat in Constant Pressure (Cp)

13. Glass Transition Temperature(Tg)

14. Melting Temperature(Tm)

15. Crystallization Temperature(Tc)

16. Oxidation Induction Time(OIT)

17. High Density Poly Ethylene(HDPE)

20. DSC 30 Mettler Toledo

21. Taguchi

22. High Pressure Differential Scanning Calorimeter (HPDSC)

23. Ultra Violet Differential Scanning Calorimeter (UVDSC)

24. Modulated Temperature Differential Scanning Calorimetry (MTDSC)

25. Step Scan

26. Hyper Red Differential Scanning Calorimeter (Hyper DSC) or Fast Differential Scanning Calorimeter (FDSC)

27. Infra-Red Differential Scanning Calorimeter (DSCIR)

28. Mass Spectrometer Differential Scanning Calorimeter (MSDSC)

29. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

30. Raman Spectroscopy Differential Scanning Calorimetry (Raman DSC)

مراجع

[1] Höhne G. W. H., Hemminger W. F., Flammersheim H. J., Differential Scanning Calorimetry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2nd revised and enlarged ed., 1-8, and 2003.

[2] Gabbott P., the Principles and Applications of Thermal Analysis, Wiley-Blackwell: London, England, 1st ed., 1-50, 2008.

[۳] طلوعی شهره، «گرماسنجی روبشی تفاضلی و کاربرد آن در شناسایی پلیمرها»، ژورنال علوم و فناوری پلیمر، شماره ۱۰، صفحه ۲۵۸-۲۷۱، ۱۳۷۵.

[4] Frequently Asked Questions, Differential Scanning Calorimetry (DSC), a Beginner's Guide, PerkinElmer, Inc., 2014.

[5] Thermal Analysis, Technical Note, Guide to Selection of Differential Scanning Calorimetry (DSC) Sample Pans, PerkinElmer, Inc., 2014.

[6] Application Sheet, DSC Accessories, Special Crucibles for OIT Tests, Influence of the Crucible on the Oxidative-Induction Time (OIT), NETZSCH-Gerätebau GmbH, 2013.

[7] Thermal Analysis Application, METTLER TOLEDO Thermal Analysis User Com 14, Optimization of DSC measurement Conditions, Mettler-Toledo AG, Analytical CH-8603 Schwerzenbach, Switzerland, 2010.

[8] Roy R., A Primer on the Taguchi Method, Society of Manufacturing Engineers: Michigan, USA, 2nd ed., 1-247, 2010.

[9] Ross P. J., Taguchi Techniques for Quality Engineering. Loss Function, Orthogonal Experiment, Parameters and Tolerance Design, McGraw-Hill, USA, 2nd ed.,1-329 , 2005.

[10] Thermal Analysis in Practice "Tips and Hints", Introductory Handbook, Volume 2, Mettler-Toledo GmbH, Analytical Sonnenbergstrasse 74 CH-8603 Schwerzenbach, Switzerland, 2016.

[11] Commenga H.K. et al, "The temperature Calibration of scanning calorimeters.Part2: Calibration substances", Thermochimica acta Journal, 219, 333-342, 1993.

[12] DSC131, Commissioning Utilizations, A/DSC131-1A, SETARAM, 7, rue de l'Oratoire F-69300 CALUIRE, France, 2006.

[13] DSC 131 EVO, Putting into Service, Applications, F/DSC131EVO-1A, SETARAM , 7, rue de l'Oratoire F-69300 CALUIRE, France, 2015.

[14] Standard Terminology Relating to Performance Validation in Thermal Analysis, ASTM Standard, E 2161, 2008.

[15] Standard Terminology Relating to Thermal Analysis and Rheology, ASTM Standard, E 473, 2008.

[16] SETSOFT2000, User's Manual, SETARAM, Ver1.3, 2004.

فصلنامه تخصصی
دانش آزمایشگاهی ایران
سال پنجم ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶ ■ شماره پیاپی ۱۸

میکروسکوپی روبشی هدایت یونی

نویسندگان

سمیه جلیل‌زاده[۵و۱*]
پیروز مرعشی[۵و۲]
صدیقه صادق‌حسنی[۵و۳]
زهرا ثبات[۴]

*Somayehjalilzadeh@yahoo.com

چکیده

میکروسکوپ روبشی هدایت یونی وسیله‌ای مناسب برای بررسی سطوح نارسانا در محلول‌های الکترولیت است. به‌دلیل پرهیز از تماس فیزیکی مستقیم بین پروب و سطح نرم سلول، این میکروسکوپ می‌تواند برای مطالعه سلول‌های زنده به روشی غیرمخرب مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در این روش، آماده‌سازی نمونه که در اغلب روش‌های میکروسکوپی پروبی روبشی مورد نیاز است، صورت نمی‌گیرد؛ بنابراین، محققین می‌توانند سطح سلول زنده را در حالی که با محلول الکترولیت احاطه شده‌است، مطالعه کنند. در سال‌های اخیر، این روش به‌صورت گسترده‌ای برای تهیه تصویر از انواع مختلف سلول‌های زنده مانند سلول‌های عصبی، الیگودندروسیت‌ها و میوسیت‌های موش استفاده شده‌است. در این مقاله اساس کار، چگونگی اجرا و کاربردهای میکروسکوپ روبشی هدایت یونی به‌صورت اجمالی بررسی شده‌است.

واژه‌های کلیدی

میکروسکوپ روبشی هدایت یونی، سلول زنده، پروب میکروپیپتی، الکتروفیزیولوژی.

مقدمه

سلول، واحد سازنده تمام سیستم‌های زیستی است. تلاش‌های فراوانی در حوزه‌های مختلف علم و فناوری برای درک بهتر این سیستم پیچیده صورت گرفته است. اگر چه به کمک میکروسکوپ‌های الکترونی می‌توان تصاویری با قدرت تفکیک نانومتری از مواد زیستی تهیه کرد، اما در این روش نمونه‌ها باید قبل از بررسی در میکروسکوپ الکترونی منجمد، خشک و رنگ شوند که می‌تواند باعث تغییر شکل نمونه شود. این عامل همواره نگرانی پژوهش‌گران مواد زیستی را در مطالعات میکروسکوپی الکترونی به همراه داشته است [۱]. میکروسکوپ نیروی اتمی[۶] نیز به‌صورت روشی انعطاف‌پذیر در مقیاس نانو برای نشان دادن مورفولوژی سه‌بعدی مواد بیولوژیکی در شرایط فیزیولوژی، پیشرفت کرده است. اما اصول تصویربرداری AFM بر پایه اندازه‌گیری «نیرو» بین سوزن تیز و یک ساختار نانویی ممکن است منجر به تغییر شکل مکانیکی مواد نرم شود. برای جلوگیری از این نوع تغییر شکل، میکروسکوپ هدایت یونی[۷] یا میکروسکوپ روبشی هدایت یونی[۸] که در حالت جریان متناوب کار می‌کند، توسعه داده شده‌است [۲]. اساس این روش بر مبنای اندازه‌گیری تغییر مقاومت بین الکترود و نمونه هنگام نزدیک شدن پروب به سطح نمونه است و چون این تغییر مقاومت، قبل از تماس مکانیکی بین نوک پروب و سطح نمونه به وجود می‌آید، می‌توان بارها تصویر سطح سلول‌های زنده را تهیه نمود. این روش امکان تهیه تصویر از زیربخش‌های سطح سلول با توان تفکیک بالا و مشاهده انبساط و انقباض اجزای برآمده سلولی مانند میکروویلی را امکان‌پذیر می‌سازد؛ همچنین به کمک آن تهیه تصویر با توان تفکیک پایین از کل سلول و تعیین کمّی حرکت، متورم شدن و تغییرات کلی شکل سلول میسر است [۳]. روش میکروسکوپی SICM تنها روش تصویربرداری با توان تفکیک بالا است که بدون تماس با سطح عایق نمونه‌ی غوطه‌ور در مایع، کار می‌کند؛ بنابراین، برای مطالعه سلول‌های زنده و مواد نرم، بسیار مناسب است [۳و۴].

تاریخچه

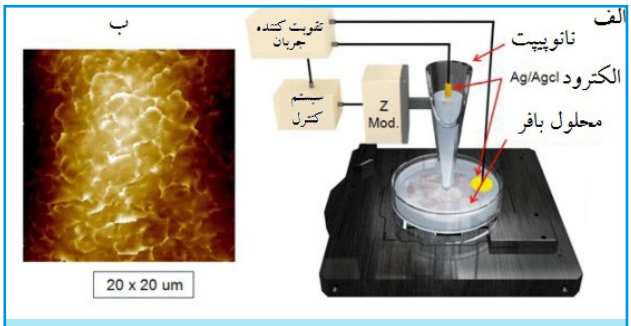
روش میکروسکوپی روبشی هدایت یونی نخستین بار در سال ۱۹۸۹ توسط هنسما[۹] و همکارانش در دانشگاه کالیفرنیا توسعه داده شد [۵]. در واقع SICM عضوی از خانواده بزرگ میکروسکوپ پروبی روبشی[۱۰] است که به ویژه برای روبش مواد نرم نارسانا در حمام محلول الکتریکی با توان تفکیک زیر میکرونی طراحی شده‌است. به‌منظور تصویربرداری با کنتراست بالا، SICM در تلفیق با حالت ضربه‌زنی[۱۱] میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده می‌شود. این روش به مدت بسیار طولانی تنها برای تصویربرداری از لایه‌های پلیمری استفاده می‌شد. در سال ۱۹۹۷، کورچف[۱۲] تصویربرداری از سلول‌های زنده را بدون تماس مستقیم با سطح نمونه با استفاده از SICM توسعه داد. او اولین تصاویر SICM را از ملانوسیت‌های[۱۳] موش تهیه کرد [۶و۷]. در سال ۲۰۰۰، کورچف و همکارانش کاربرد تازه‌ای را برای SICM یافتند. آنها از این روش برای اندازه‌گیری حجم سلول در حین فعالیت استفاده نمودند. روش آنها در محدوده وسیعی از حجم‌های سلولی و نیز انواع مختلف فرایندهای سلولی به کار برده شده و ویژگی‌های سطحی و حجمی سلول به‌صورت هم‌زمان مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. همچنین گروه با سرپرستی کورچف برای نخستین بار در سال ۲۰۰۰، نقشه کانال‌های یونی فعال را هم‌زمان با تصویربرداری از غشاءهای سلولی کامل تهیه نمود. استفاده از یک سوزن هنگام روبش سطح نمونه، اندازه‌گیری کانال یونی منفرد سلول‌های کوچک را تسهیل نموده و تعیین ساختار سلولی در مقیاس زیر میکرون را که با روش‌های قدیمی غیرقابل دست‌یابی بود، امکان‌پذیر می‌کند.

توانایی اندازه‌گیری هم‌زمان بیش از یک ویژگی، از مزایای روش SICM است که باعث ارتقا کارایی این روش می‌شود. در سال ۲۰۰۲، گورلیک[۱۴] و همکارانش از SICM برای ثبت هم‌زمان توپوگرافی با توان تفکیک بالا و فلورسانس سطح سلول در روبش استفاده نمودند [۸].

اصول اجرایی SICM

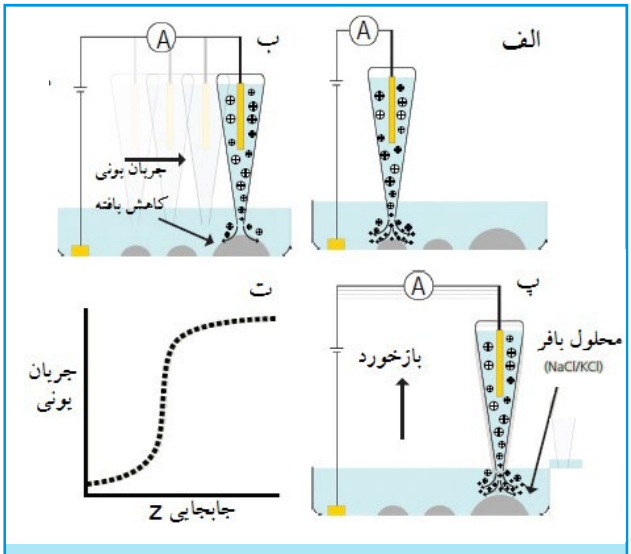
در میکروسکوپ روبشی هدایت یونی، یک پروب با بازوی محرک پیزو روی سطح حرکت داده می‌شود و به دنبال آن جریان یونی مشخصی بوجود آمده و اندازه‌گیری می‌شود. در این میکروسکوپ معمولاً پروب یک میکرو یا نانوپیپت شیشه‌ای دارای بار الکتریکی است که با الکترولیت پر شده و به سمت سطح نمونه‌ای که عایق جریان یونی است و در حمام الکترولیتی با بار مخالف قرار دارد، نزدیک می‌شود. در شکل (۱)، نمای دستگاه SICM نشان داده شده‌است [۱].

یک الکترود شاهد (Ag/AgCl) درون پیپت و الکترود دیگر در فاصله نسبتاً دور از نمونه، درون الکترولیت در محفظه اندازه‌گیری قرار دارد. الکترود روبشگر در حالی که مختصات موقعیتش با رایانه و از طریق بازوی محرک پیزو کنترل می‌شود، درون محفظه قرار می‌گیرد. مقاومت محلول الکترولیت بین سوزن الکترود و سطح نمونه با استفاده از تقویت‌کننده‌ای که خاص محلول‌های الکتروفیزیولوژیک طراحی شده و برای پایش هدایت و بدست آوردن دیگر داده‌ها به



شکل ۱: الف) نمای مجموعه دستگاه SICM، ب) نمونه‌ای از تصویر به‌دست آمده با آن، مربوط به سلول‌های سرطانی کبد [۱].

رایانه متصل شده، اندازه‌گیری می‌شود. وقتی که ولتاژ خارجی بین این دو الکترود اعمال می‌شود، جریانی از طریق یون‌های هدایتی برقرار می‌شود. با فرض ناچیز بودن مقاومت الکترولیت، می‌توان دو مقاومت الکتریکی را در این مدار مورد توجه قرار داد که شامل مقاومت ناشی از شکل مخروط ناقص پیپت و مقاومت ناشی از فاصله بین پیپت و سطح نمونه هستند. در شکل (۲)، چگونگی تغییر جریان یونی با تغییر فاصله نشان داده شده‌است. وقتی که پیپت از سطح دور است، مقاومت دوم از بین رفته و جریان به حد اشباع می‌رسد، زیرا مقاومت ناشی از شکل نوک پیپت طی اندازه‌گیری ثابت باقی‌می‌ماند (شکل ۲-الف). با نزدیک شدن سوزن میکروپیپتی به نمونه، حجم کانال هدایت یونی بین پروب و نمونه کوچک‌تر شده (شکل ۲-ب) و در نتیجه جریان یونی به شدت کاهش می‌یابد. تغییرات جریان یونی با یک تقویت کننده اندازه‌گیری شده و به‌عنوان سیگنال بازخورد[۱۵] واحد کنترل روبش‌گر برای ثابت نگه داشتن فاصله بین سوزن پیپتی و نمونه (با اعمال ولتاژ مناسب به پیزو Z در طول روبش) مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲-پ). بنابراین، مسیر حرکت سوزن از توپوگرافی سطح پیروی می‌کند. می‌توان طی اندازه‌گیری از مدولاسیون AC برای پایداری بیش‌تر بهره برد. شکل (۲-ت) نمودار تغییرات جریان یونی بر حسب فاصله رانشان می‌دهد.



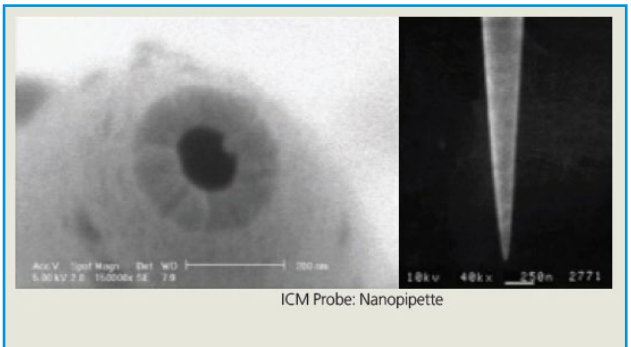
شکل ۲: چگونگی کار SICM و تغییرات جریان یونی با تغییر فاصله پروب میکروپیپت نسبت به سطح نمونه [۹].

میکروسکوپ هدایت یونی روبشی بدون تماس فیزیکی و اعمال نیرو بر سطح نمونه غوطه‌ور در مایع کار می‌کند. از آن جا که فاصله سوزن - نمونه، با ثابت نگه داشتن جریان یونی از طریق سیستم بازخورد، ثابت نگه داشته می‌شود، SICM دستگاه بسیار مناسبی برای مطالعه نمونه‌های بیولوژیکی نرم و چسبنده غوطه‌ور در مایع است [۱و۹].

SICM همچنین می‌تواند نقشه جریان‌های یونی موضعی بالای سطح نمونه را فراهم کند. این نکته در تصویربرداری جریان‌های یونی که از میان کانال‌های غشاءیی می‌گذرند، مفید است [۱۰].

تهیه میکروپیپت

برای تهیه میکروپیپت استانداردی که می‌تواند برای اندازه‌گیری مشخصات سلولی در روش SICM استفاده شود، روش ساده‌ای وجود دارد. برای این منظور می‌توان از دستگاه تجاری برای کشیدن میکروپیپت استفاده نمود. لوله‌های مویین شیشه‌ای (با قطر خارجی ۲ mm و قطر داخلی ۱ mm) به دو انتهای دستگاه متصل شده و وسط آن به‌صورت الکتریکی حرارت داده می‌شود. سپس لوله از دو سو کشیده شده و بدین ترتیب، دو میکروپیپت بدست می‌آید. اندازه قطر دهانه میکروپیپت را می‌توان با استفاده از میکروسکوپ نوری تخمین زد. معمولاً قطر دهانه در حدود ۱ µm و قطر خارجی آن ۲ µm است. میکروپیپت با استفاده از ویژگی موییگی با محلول KCl یک مولار پر می‌شود. سل مایع نیز با محلول KCl یک مولار پر می‌شود تا از اختلاف غلظت جلوگیری شود. از دو الکترود Ag/AgCl در داخل پیپت و حمام به‌عنوان الکترود استفاده می‌شود. معمولاً ولتاژ ۱۰۰ mV و جریان ۱۰۰ nA بین الکترودها برقرار می‌شود [۱۱]. در شکل (۳) تصویر یک میکروپیپت شیشه‌ای با قطر خارجی ۸۰-۱۰۰ nm و قطر داخلی ۳۰-۵۰ nm نشان داده شده‌است که در SICM به‌عنوان پروب استفاده می‌شود [۹].



شکل ۳: تصویر یک میکرو پیپت شیشه‌ای که در SICM به‌عنوان پروب استفاده می‌شود [۹].

حالت‌های کاری SICM

با توجه به این که هدایت با رابطه ساده اهم بدست می‌آید:

$$G = R^{-1} = I.V^{-1} \quad (1)$$

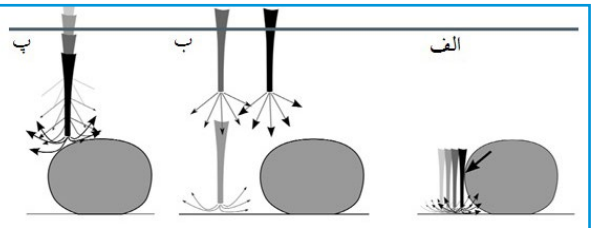
تغییرات هدایت را می‌توان با اعمال یک ولتاژ ثابت و اندازه‌گیری جریان تولید شده و یا اندازه‌گیری ولتاژ مورد نیاز برای برقراری جریان ثابت، تعیین نمود. معمولاً در اندازه‌گیری‌های الکتروفیزیولوژی از هر دوی این حالت‌ها استفاده می‌شود. این حالت‌ها به ترتیب با نام حالت‌های جریان - کنترل[۱۶] و ولتاژ - کنترل[۱۷] شناخته می‌شوند.

در این حالت‌ها می‌توان جریان یا ولتاژ را به‌صورت ثابت یا پالسی اعمال کرد. ممکن است الکترود بر اثر اعمال جریان ثابت دچار رانش شود که می‌توان برای جلوگیری از آن از جریان‌های پالسی که شرایط پایدارتری را فراهم می‌کنند، استفاده نمود. به هر حال این روش دارای معایبی نیز است، به علت ظرفیت الکتریکی الکترودها، شارژ خازن پیش از تشخیص ارتفاع پالس، کامل می‌شود. با توجه به این واقعیت که ثابت زمانی خازن (τ) دارای رابطه خطی با مقاومت (R) الکترود است، بدست آوردن تصاویر با توان تفکیک بالا در حالت استفاده از جریان ثابت آهسته‌تر است [۳].

روش دیگر برای حل مشکل پایداری، به‌ویژه برای تصاویر با توان تفکیک بالا، استفاده از مدولاسیون موقعیت (z) الکترود است. در این حالت، بعد از این که نوک الکترود کاملاً به نمونه مورد روبش نزدیک می‌شود، تغییرات هدایت در برابر زمان به‌صورت سینوسی شده و می‌تواند از طریق تقویت کننده قفل شونده[۱۸] مورد شناسایی قرار گیرد. این حالت به دلیل بزرگ بودن نسبت سیگنال به نویز تقویت کننده قفل شونده، می‌تواند تغییرات بسیار کوچک هدایت را نیز تشخیص دهد. علاوه بر این، برای دست‌یابی به تصاویر با توان تفکیک بالا، لازم است از الکترودهایی با قطر دهانه کوچک استفاده شود. هنگامی که هدایت در فاصله تقریباً برابر با قطر دهانه نوک الکترود از سطح نمونه شروع به تغییر می‌کند، درصورت استفاده از میکرو الکترودهایی با قطر دهانه کوچک، تشخیص تغییرات هدایت از طریق تقویت کننده قفل شونده واقعاً مؤثر خواهد بود [۳].

پس از این که پروب برای نخستین بار به‌صورت موفقیت‌آمیز به سطح نمونه نزدیک شد، می‌توان روبش جانبی را با روش‌های مختلف اجرا نمود. از جمله می‌توان حالت «فاصله ثابت» را نام برد؛ به این ترتیب که الکترود به‌صورت جانبی جابه‌جا می‌شود و موقعیت (z) به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که همان هدایت یک مرحله قبل بدست آید. این روش خیلی سریع بوده و از توان تفکیک بالایی برخوردار است. پله‌های حرکت جانبی باید کوچک باشند تا از برخورد الکترود با شیب‌های شدید نمونه اجتناب شود. با استفاده از سوزن کوچک که می‌تواند به کوچکی ۲۵ نانومتر باشد و نیز با تلفیق آن با پله‌های کوچک می‌توان تصویرهایی با توان تفکیک بالا تهیه نمود. برای به‌دست آوردن تصویر تمام سلول‌ها، حالت فاصله ثابت نمی‌تواند بخش‌های آویزان غشاء را که در فاصله‌های بیش‌تری از کف ظرف کشت قرار دارند، آشکار کنند؛ این امر باعث وارد آمدن خسارت به سلول و شکسته شدن نوک ظریف الکترود شیشه‌ای می‌شود (شکل ۴-الف). برای حل این مشکل حالت کاری «قدم به عقب[۱۹]» ارائه شد که امکان آشکار کردن این نواحی را قبل از برخورد میله الکترود با شیب‌های تند غشاء فراهم می‌کند. چگونگی کار این حالت بدین ترتیب است که بعد از ثبت موقعیت (xyz)، الکترود با یک فاصله از پیش تعیین

شده به عقب برگشته (قدم به عقب)، به‌صورت جانبی جابه‌جا می‌شود (شکل ۴-ب) و سرانجام دوباره برای تعیین نقطه بعدی تغییر هدایت، به سطح نمونه نزدیک می‌شود (شکل ۴-پ). این روش، زمان زیادی نیاز دارد زیرا نوک الکترود باید فاصله بسیار زیادی را طی کند. برای صرفه‌جویی در زمان روبش، «حالت قدم به عقب شناور[۲۰]» معرفی شد. در این روش، ابتدا سطح با توان تفکیک جانبی کم (۳ µm) روبش می‌شود. با مقایسه مقادیر متوالی (z)، نرم‌افزار به‌صورت خودکار نواحی با شیب تند در محور (z) را که نیاز به قدم به عقب بزرگ دارند، تشخیص می‌دهد. طی روبش بعدی که با توان تفکیک بالا صورت می‌گیرد، این قدم به عقب‌های بزرگ، فقط برای مناطقی که شیب‌های تندتری دارند استفاده می‌شود و برای مناطقی که تغییر ارتفاع کمی دارند، از قدم به عقب‌های کوچک‌تر استفاده می‌شود. این روش، میزان قدم به عقب‌های بزرگ را بسته به زبری نمونه، تا حدود ۳۰ درصد کل سطح، کاهش می‌دهد [۳].



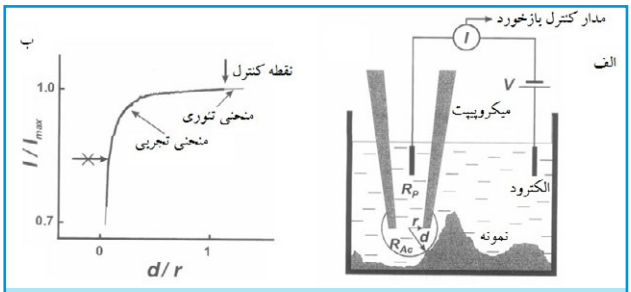
در حالت فاصله ثابت، پروب قادر به آشکارسازی نواحی غشاءیی آویزان نیست بنابراین ممکن است با نمونه برخورد کند. (ب) در حالت قدم به عقب، الکترود بعد از نزدیک شدن به سطح (الکترود خاکستری روشن)، به اندازه یک پله از قبل تعیین شده، به عقب کشیده می‌شود (خاکستری متوسط) و بعد به‌صورت جانبی جابه‌جا می‌شود (الکترود سیاه)، (پ) به دنبال قدم به عقب، الکترود دوباره برای روبش نمونه به سطح نزدیک می‌شود، بدون این که آسیب ببیند [۳].

اصول محاسباتی SICM

در این بخش اساس تئوری محاسبات جریان یونی که در دستگاه SICM از نوک میکروپیپت جریان می‌یابد و همچنین چگونگی تغییر آن با تغییر فاصله سوزن / نمونه که در درک صحت تصاویر بدست آمده از SICM حائز اهمیت است، توضیح داده می‌شود.

مقدار جریان یونی (I) که از میکروپیپت جریان می‌یابد، به شدت به موقعیت نوک پروب نسبت به سطح نمونه وابسته است. این جریان که در حلقه بازخورد[۲۱] برای کنترل موقعیت عمودی سوزن مورد استفاده قرار می‌گیرد، مطابق شکل (۵)، تابع مقاومت کلی سوزن است. این مقاومت خود، ترکیبی از مقاومت میکروپیپت (R_p) و مقاومت دهانه باز میکروپیپت (R_{AC}) است. مقاومت پیپت را به سادگی می‌توان به‌صورت مقاومت الکترولیت داخل پیپت در نظر گرفت ولی پیدا کردن عبارتی ساده برای بیان مقاومت دهانه باز میکروپیپت کار دشواری است. برای این منظور، سوزن پیپت به‌صورت یک مخروط ناقص از یک مخروط راست با قاعده دایره‌ای شکل فرض می‌شود و شعاع قاعده آن، شعاع لوله‌ای شیشه‌ای از محلی است که میکروپیپت کشیده شده‌است، شعاع نوک پیپت (r) همان شعاع دهانه پیپت بوده و ارتفاع آن به اندازه ارتفاعی است که سوزن میکروپیپت از الکترولیت پر شده‌است. مقاومت دهانه به‌صورت مقاومت مسیرهای همگرا از حمام الکترولیت به دهانه میکروپیپت تعریف می‌شود. این تعریف اغلب توسط دانشمندان علم الکتروفیزیولوژی که کانال‌های یونی را مطالعه می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

موقعیت سوزن میکروپیپت نسبت به سطح نمونه، مقاومت دهانه (R_{AC}) و در نتیجه جریان یونی (I) را که از میان پیپت جریان می‌یابد، تحت تاثیر قرار می‌دهد. شکل (۵) نمایی از این روش و موقعیت سوزن نسبت به سطح نمونه و مقایسه مقدار مورد انتظار برای جریان (I) و مقدار واقعی آن را به‌صورت تابعی از فاصله سوزن - نمونه (d) نشان می‌دهد [۱۲].



شکل ۵: (الف) برهم‌کنش سوزن میکروپیپت / سطح نمونه و (ب) نمودار عملکرد میکروسکوپ روبشی هدایت یونی [۱۲].

مقدار جریان در فاصله (d) که بسیار بزرگتر از شعاع (r) است، می‌تواند برای کنترل موقعیت عمودی سوزن و مشاهده ساختارهای مجاوری که ارتفاعشان بزرگ‌تر از فاصله سوزن - پروب است، استفاده شود. در طول روبش، نوک پیپت و «حسگر کروی جریان» با شعاع (d) بدون آسیب رساندن به سطح نمونه، روی آن حرکت می‌کند. منحنی (ب)، مقایسه مقدار مورد انتظار برای جریان (I) و مقدار واقعی آن را به‌صورت تابعی از فاصله سوزن - نمونه (d) نشان می‌دهد. منحنی تئوری براساس مدل ساده سوزن با شکل مخروط ناقص در حالی که به سطح صاف و نارسانای نمونه نزدیک می‌شود، محاسبه شده‌است. داده‌های تجربی ساختار هندسی مشابهی را برای سوزن نشان می‌دهند. پیکان عمودی، مقدار جریان (نقطه کنترل) مورد استفاده برای روبش در مدار کنترل بازخورد را نشان می‌دهد [۱۲].

معمولا (R_{AC}) تابع پیچیده‌ای از فاصله بین نمونه و پروب (d)، ویژگی‌های هندسی و الکتروشیمیایی سطح نمونه است. چنانچه بین دو الکترود SICM ولتاژ (V) برقرار شود، جریان (I) که از پیپت می‌گذرد به‌طور مستقیم اندازه‌گیری و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I = \frac{V}{R_p + R_{AC}(d)} \qquad (۲)$$

که در آن: (V) ولتاژ اعمال شده بین دو الکترود، (Rp) مقاومت

خود میکروپیپت، (d) فاصله بین نمونه و سوزن و (R_{AC}) مقاومت دهانه باز پیپت است. (R_p) ثابت است و می‌تواند به‌صورت مقاومت الکترولیت داخل پیپت محاسبه شود، ولی همان‌طور که اشاره شد، یافتن عبارت محاسباتی مناسب برای (R_{AC}) دشوار است.

رابطه فوق را می‌توان برای مدل ساده‌ای که در آن سوزن به سطح صاف و نارسانای نمونه نزدیک می‌شود، به‌صورت عددی حل کرد. مدل نشان داده شده در شکل (۵-ب)، تطابق خوبی بین داده‌های تجربی و منحنی تئوری محاسبه شده برای ساختار هندسی پیپت برقرار می‌کند. محور عمودی جریان نرمال شده را نشان می‌دهد (Imax جریان برقرار شده به هنگام دور بودن سوزن از سطح نمونه است). محور افقی فاصله بین سوزن - نمونه را به‌صورت (r) نشان می‌دهد. پیکان مشخص شده با علامت ضربدر ناحیه‌ای را مشخص می‌کند که موقعیت پروب نسبت به سطح نمونه به‌گونه‌ای است که جریان یونی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که این جریان به‌عنوان جریان اولیه در حلقه بازخورد انتخاب می‌شود، می‌تواند موقعیت افقی سوزن را با حساسیت بیشتری کنترل نماید. به هر حال، باید توجه داشت که نوک پروب بسیار به سطح نمونه نزدیک است و بنابراین نسبت به ساختارهای جانبی که بلندتر از فاصله بین نمونه - سوزن هستند، دارای حساسیت محدودی است. حین فرایند روبش با این جریان اولیه، نوک پیپت ممکن است بشکند یا باعث آسیب دیدن نمونه شود. برای جلوگیری از این امر بسیار ضروری است که جریان اولیه‌ای که برای حلقه بازخورد تنظیم می‌شود، به مقادیری که در آن مقدار فاصله (d) بیش از (r) است، تغییر داده شود (شکل ۵). این وضعیت یک حالت «حسگر کروی» با قطر (d) را بوجود می‌آورد که می‌تواند سطح نمونه را بدون آسیب رساندن به آن و یا شکسته شدن پیپت، روبش کند.

به هر حال، عبارت (R_{AC}) که توسط کورچف و همکارانش به‌صورت یک تابع پیچیده از فاصله (d) بین نمونه و نوک پروب، هندسه و ویژگی‌های سطح نمونه تعریف شد، نتوانست در مدل‌های پیچیده‌تر پیش‌بینی‌های محاسباتی را به‌طور کامل انجام دهد. بعد از او، هال[۲۳] تشریح نمود که چگونه می‌توان مقاومت مدخل یک حفره دایره‌ای شکل کوچک را محاسبه نمود.

این کار با مدل‌سازی نوک پیپت به‌صورت یک نیم کره با شعاع دهانه باز پیپت انجام می‌شود. بر این اساس مقدار مقاومت ساده شده (R_{AC}) را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

$$R_{Ac} = \frac{\rho}{4a} \qquad (۳)$$

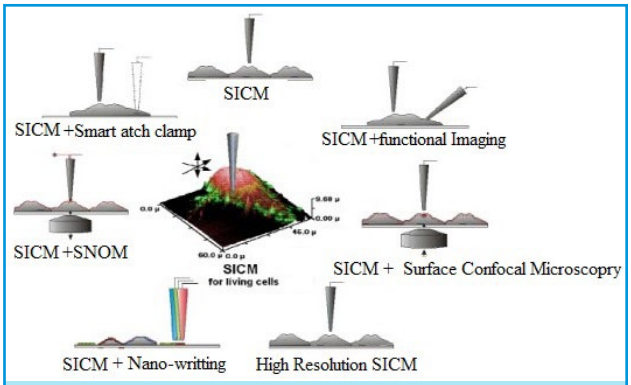
که در آن: (a) شعاع نوک میکروپیپت و (ρ) مقاومت ویژه محلول الکترولیت است.

به هر حال عبارت‌های ریاضی روشن و ساده‌ای که بتوانند مقاومت دهانه و جریان یونی را در این روش میکروسکوپی به خوبی بیان کنند، هنوز یافت نشده‌است و همچنان تلاش برای دست‌یابی به عباراتی که شرایط حاکم در روش SICM را به خوبی پوشش دهند، با بکارگیری تقریب‌ها و شبیه‌سازی‌های جدید، ادامه دارد [۱۲و۱۳].

کاربردهای SICM

میکروسکوپ روبشی هدایت یونی به همراه مجموعه‌ای از روش‌های وابسته، به دلیل توان تفکیک جانبی و امکان تلفیق با دیگر روش‌های بررسی دینامیکی که برای سلول‌های زنده فراهم می‌کنند، به‌عنوان روشی ارزشمند برای مطالعه رفتار نانویی سلول‌های زنده‌ی سالم و بیمار استفاده می‌شود.

در شکل (۶)، خانواده‌ای از روش‌هایی که توسط این گروه گسترش داده شده مشاهده می‌شود [۱۴].

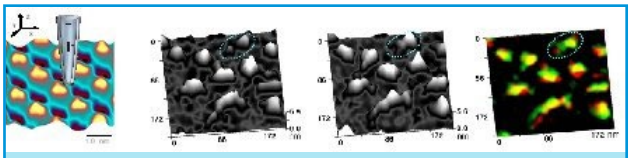


شکل ۶: خانواده‌ای از میکروسکوپ روبشی هدایت یونی و روش‌های وابسته [۱۴].

این روش‌ها برای انواع بسیار متنوعی از سلول‌ها و بافت‌ها قابل استفاده بوده و برای فیزیولوژی، غدد مترشحه داخلی و ویروس‌شناسی عصب، قلب و نطفه به کار برده می‌شود. پیشرفت‌های کلیدی که در این زمینه روی داده است، عبارتند از:

الف. توسعه یک سیستم منحصر به فرد غیرتماسی برای تصویربرداری دینامیکی سطوح سلول زنده تا حد ترکیبات پروتئینی منفرد. این روش بر پایه روبش یک نانوپیپت استوار است که از بازخورد هدایت یونی برای ثابت نگه داشتن فاصله پیپت - نمونه استفاده می‌کند. به این ترتیب می‌توان سلول‌های زنده را بدون نیاز به تثبیت و رنگ کردن، با توان تفکیک بالا بررسی کرد. بر این اساس، بررسی‌های زیر امکان‌پذیر می‌شود [۱۴]:

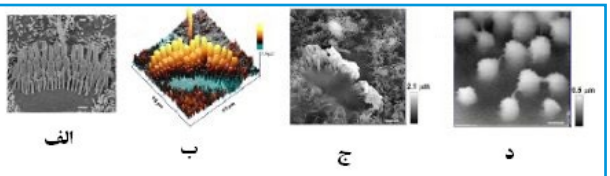
- تهیه تصویر از ترکیبات پروتئینی روی یک سلول زنده که نمونه‌ای از آن در شکل (۷) نشان داده شده‌است.



شکل ۷: تصویر تهیه شده از پروتئین یک سلول زنده به روش SICM [۱۴].

- تعیین دینامیک میکروویلی و بررسی چگونگی عملکرد آنها به‌عنوان واحدهای ساختمانی برای تولید ساختارهای پیچیده‌تر.
- تهیه تصویر با توان تفکیک بالا در حالت جهشی . در شکل

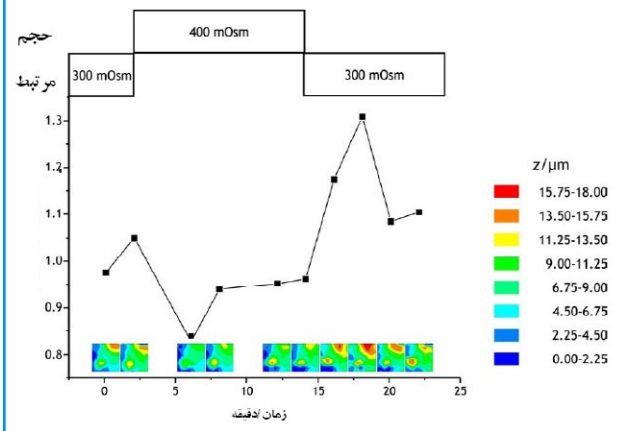
(۸)، تصویر یک سلول جهش یافته نشان داده شده‌است.



شکل ۸: تصویر یک سلول جهش یافته [۱۴].

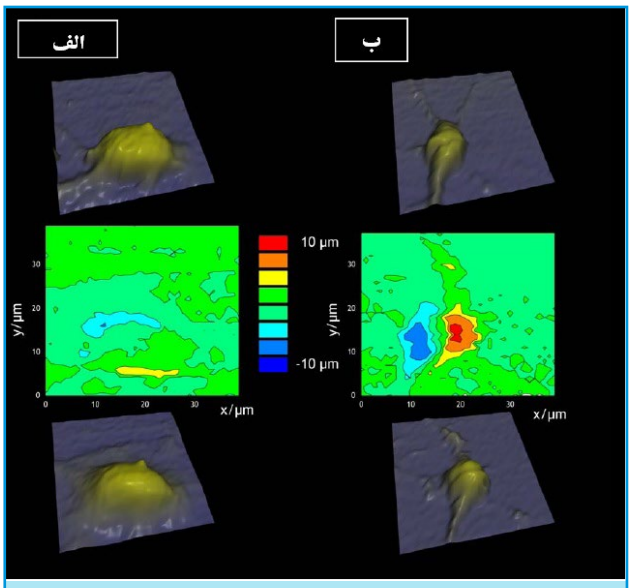
توسعه یک مدل در شرایط آزمایشگاهی[۲۴] از اختلال ریتم در قلب و مطالعه تأثیر اسید صفرا روی کارکرد میوسیت قلب.

روش میکروسکوپی SICM امکان بررسی تغییر شکل سلول‌های زنده را میسر می‌سازد. در شکل (۹) چگونگی عملکرد روش میکروسکوپی SICM برای بررسی تغییرات حجم ناشی از تغییرات اسمولاریته طی چند دقیقه، نشان داده شده‌است. مشاهده می‌شود که این روش از سرعت عمل کافی برخوردار بوده و می‌تواند این تغییرات را به خوبی ثبت کند. برای به دست آوردن توان تفکیک زمانی بهتر، توان تفکیک جانبی روبش‌ها به ۶۴ نقطه در ناحیه‌ای به اندازه ۳۰ میکرون در ۳۰ میکرون کاهش یافته است. با این تنظیمات، به‌طور معمول حدود ۲ دقیقه برای کامل کردن یک روبش نیاز است که برای اندازه‌گیری کمّی تغییرات حجم ناشی از تنش اسموتیک، به اندازه کافی سریع است [۳].



شکل ۹: تغییرات حجم سلول‌های کبد به دنبال تغییر سریع اسمولاریته سیال خارج از سلول (با توجه به نقشه کد رنگی ارائه شده در تصویر، ناحیه قرمز نشان‌دهنده مقادیر بالاتر z است) [۳].

روش SICM می‌تواند برای مشاهده حرکت‌های سلولی نیز استفاده شود. در شکل (۱۰)، حرکت سلول مغزی موش بالغ و نابالغ به کمک روش SICM به تصویر کشیده شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌طور که انتظار می‌رود، بعد از دو روبش متوالی در فاصله ۷۰ دقیقه، الیگودندروسیت بالغ[۲۵] مغز موش، جابه‌جایی کم‌تری داشت در حالی که سلول نابالغ[۲۶] چندین میکرومتر حرکت کرده بود. روش SICM با فراهم کردن اطلاعات سه‌بعدی در مورد شکل سلولی طی مهاجرت روی بسترهای تخت، به کشف جنبه‌های ناشناخته از تغییرات سطح غشاء طی مهاجرت سلولی، کمک می‌کند [۳].



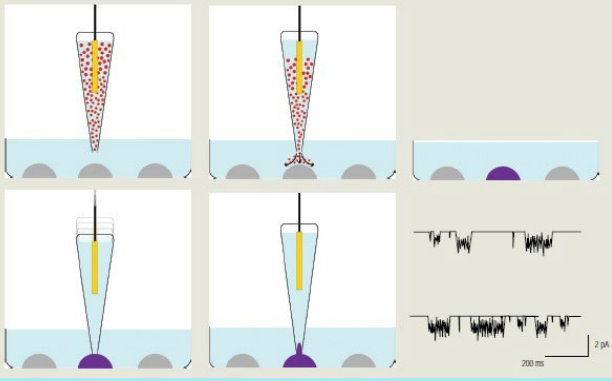
شکل ۱۰: مقایسه حرکت سل بالغ (الف) و نارس (ب) مغز موش. ناحیه روبش ۴۰ میکرون در ۴۰ میکرون، اندازه پله: ۱ میکرون (جانبی) و ۱۰۰ نانومتر (عمودی). زمان بین دو روبش، ۷۰ دقیقه. تفاوت رنگ تصویرها نشان می‌دهد که سل نارس، تحرک بیش‌تری نسبت به سل بالغ داشته است [۳].

از روش میکروسکوپی روبشی هدایت یونی برای مطالعه فیبرهای آمیلوئیدی در مقیاس نانو استفاده شده‌است. ژنگ[۲۷] و همکارانش مورفولوژی 3D فیبرهای آمیلوئیدی را با استفاده از SICM نشان دادند. این روش قادر به بررسی پروتئین‌ها با توان تفکیک در مقیاس نانو است. SICM می‌تواند ارتفاع قطعات پروتئین آمیلوئیدی را با دقت اندزه‌گیری کند. این ویژگی، امکان بررسی منحصر به فرد سازوکار جوانه‌زنی و رشد آمیلوئید خودآرا[۲۸] را فراهم می‌آورد [۱۵].

از دیگر کاربردهای روش SICM، مشاهده و تهیه تصویر از سلول و غشاء سلولی است. غشاء سلول به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک سلول، بیش‌ترین فعالیت سلولی را داشته و تنها ساختار سلولی است که در همه انواع سلول‌ها در ارگانیسم‌های زنده یافت می‌شود. اما، مشاهده غشاء سلول در مقیاس نانومتری، بسیار مشکل است. به ویژه این‌که شفافیت غشاء، مشاهده آن را با میکروسکوپ نوری عملاً غیرممکن می‌سازد. روش SICM باعث بوجود آمدن تحولی اساسی در این حوزه از دانش شده و تهیه تصویر از غشاء سلولی را امکان‌پذیر نموده است [۹].

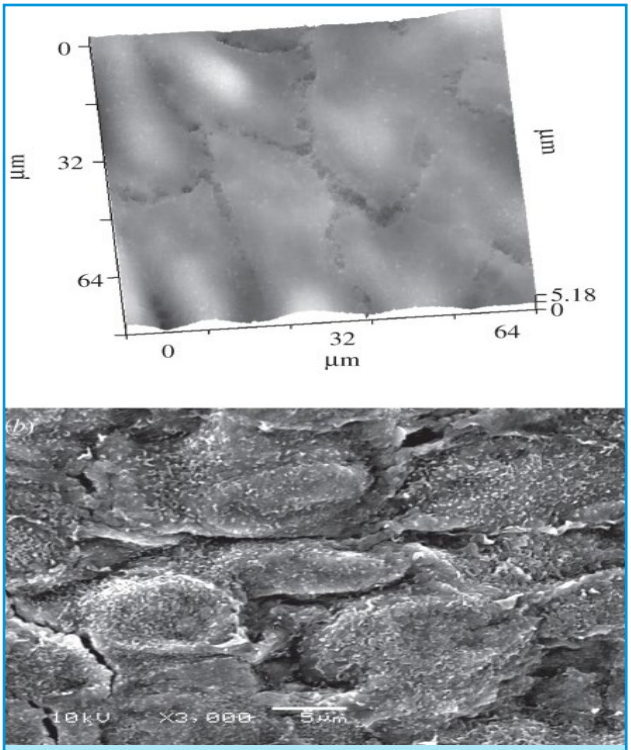
از روش SICM برای تحریک محلی و نمایش فعالیت سلول نیز استفاده شده‌است. برای این منظور از یک پیپت پر شده از مایع استفاده می‌شود. این روش در عین حالی‌که برای تصویربرداری از نمونه‌های زیستی نرم در مایع، از قبیل سلول‌های زنده ایده‌آل است، به راحتی هم می‌تواند برای تحریک کیفی و کمّی بیوشیمی سلول‌های منفرد و مطالعات تحرک سلولی[۲۹] استفاده شود. این کاربردها شامل تحریک موضعی و نمایش انتقال دارو در سلول است که نمای آن در شکل (۱۱) نشان داده شده‌است. در تحریک موضعی، سلول با اعمال یک فشار موضعی از طریق حفره پیپت، وادار به حرکت شده و به دنبال آن از عکس‌العمل سلول تصویربرداری می‌شود. به علاوه، از قابلیت‌های این روش می‌توان برای مطالعه

دینامیک سلول زنده در واکنش به تحریک شیمیایی یا دارویی موضعی، برای رسیدن به الکتروفیزیولوژی دقیق کنترل شده در مقیاس نانو، بهره جست. هم اکنون محققان حوزه پژوهشی سلول منفرد می‌توانند با بهره‌گیری از توانمندی‌های روش SICM، دانش انتقال دارو در زیست‌شناسی سلولی را کاملا متحول سازند [۹].



شکل ۱۱: نمای فرایند تحریک موضعی سلول با اعمال فشار کنترل شده از میان حفره پیپت (که سطح شیشه‌ای آن می‌تواند مطابق نیاز کاربر عامل‌دار شود) و مشاهده عکس‌العمل سلول [۹].

- در مطالعه دیگری، سلول‌های ایندوتلیال[۳۰] دریچه آئورت به روش درجا[۳۱] مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه در درک پاتوفیزیولوژی و شناخت درمان احتمالی آن بسیار ارزشمند است. در شکل (۱۲)، تصویر توپوگرافی تهیه شده از سلول‌های سازنده دریچه آئورت یک بز به روش SICM نشان داده شده‌است. در این تصویر، اندازه سلول‌ها و جهت‌گیری آنها به وضوح قابل مشاهده است [۱۶].



شکل ۱۲: تصویر توپوگرافی سلول‌های دریچه آئورت یک بز به روش SICM [۱۶].

- امکان ثبت فعالیت کانال تک یونی با دقت مولکولی در موقعیت‌های مشخص روی سطح سلول، شامل ناحیه‌هایی نظیر سیناپس نورون‌های دندریتی که تاکنون غیرقابل دسترس بوده‌اند، بر این اساس نتایج زیر به دست آمده است [۱۴]:
- تهیه نقشه از توزیع کانال‌های یونی روی میوست‌های قلب که سازوکار احتمالی فعالیت ساختار - کارکرد را آشکار می‌سازد؛
- شناسایی سازوکار احتمالی برای فعالیت آلدوسترون روی سلول‌های کلیه.

پ. ترکیبی از تصویربرداری توپوگرافی با توان تفکیک بالا با دو رنگ فلورسانس برای تهیه همزمان نقشه توپوگرافی و تصویر فلورسانس پروتئین‌های خاص. این روش در مطالعه‌های زیر استفاده شده‌است [۱۴]:
- تعقیب همزمان[۳۲] ورود ویروس و شناسایی مسیر ورود ویروس به سلول‌های زنده؛
- تعقیب مسیرهای اندوسیت؛
- مشاهده دینامیک غشاء و Ca^{+2}.

ت. کنترل تحویل مولکول‌های کوچک، پروتئین‌ها و آنتی‌بادی‌ها به موقعیت‌های مشخص روی سطح سلول. به این ترتیب می‌توان رنگ کردن ترکیبات پروتئینی برای مطالعه نفوذ سطحی مولکول‌ها با دقت اندازه مولکولی، یا هر نوع دیگری از دستکاری سلول، را به حداقل رسانید. با استفاده از این روش مطالعات زیر انجام شده‌است [۱۴]:
- کنترل رسوب مولکول‌های بیولوژیکی با استفاده از نانوپیپت برای ترکیب مونتاژ از بالا به پائین و پائین به بالای ساختارهای جدید و تشکیل نانوآرایه‌های مولکول‌های بیولوژیکی؛
- توسعه روش جدید اندازه‌گیری مکانیکی غیرتماسی.

پیشرفت‌ها و مزایای روش SICM

پیشرفت‌هایی که در حالت‌های کاری SICM روی داده است، امکان بررسی تغییرات توپوگرافی سلول زنده، اندازه‌گیری تغییر حجم سلول‌های متورم، انقباض سلول‌های قلب، الکتروفیزیولوژی سلول‌های قلب و تعیین موقعیت سلول که در مقابل محرک عکس‌العمل نشان می‌دهد، را فراهم نموده است [۱۶].

میکروسکوپ روبشی هدایت یونی ابزاری ایده‌آل برای مطالعه و بررسی سلول‌های زنده و باکتری‌ها در شرایط فیزیولوژیکی، ویروس‌ها، غشاءها، سطوح نرم از قبیل پلیمرها و لیپیدها، الکتروفیزیولوژی، عصب‌ها، کاربردهای دندانی / استخوانی، بیولایه‌ها و خوردگی است.

همچنین امکان تهیه تصاویر سه‌بعدی با توان تفکیک بالا و در مقیاس نانو از سلول‌های زنده و مواد نرم در محلول و عدم نیاز به ثابت کردن نمونه، کاربری آسان و عدم نیاز به تنظیم لیزر، مشاهده دینامیک سلولی با توان تفکیک بالا طی مدت زمان‌های طولانی و تهیه همزمان فلورسانس و تصویر سطح طی یک روبش از دیگر مزایای این روش هستند. این روش قابلیت تلفیق با روش‌های دیگر را نظیر میکروسکوپ‌های نوری/هم‌کانون نیز دارا است [۴].

نتیجه‌گیری

روش SICM تهیه تصویر با توان تفکیک بالا بدون تماس با سطح عایق نمونه‌ی غوطه‌ور در مایع را فراهم می‌کند؛ بنابراین، برای مطالعه سلول‌های زنده و مواد نرم، بسیار مناسب است. برخلاف AFM که از تیرک به‌عنوان پروب استفاده می‌کند، SICM از یک پیپت شیشه‌ای یا کوارتزی که قطر داخلی نوک آن به ترتیب ۱۰۰-۸۰ nm و ۵۰-۳۰ nm است، بهره می‌برد و مانند میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی در هوا، میکروسکوپ هدایت یونی روبشی نیز بدون تماس فیزیکی و اعمال نیرو بر سطح نمونه غوطه‌ور در مایع کار می‌کند. از آن جا که فاصله سوزن - نمونه، با ثابت نگه داشتن جریان یونی از طریق سیستم بازخورد، ثابت نگه داشته می‌شود، SICM دستگاه بسیار مناسبی برای مطالعه نمونه‌های بیولوژیکی نرم و چسبنده غوطه‌ور در مایع است و می‌توان فرآیندهای بیولوژیکی را در حال کار مشاهده کرد. برخلاف میکروسکوپ نوری که فقط قادر به نمایش تغییر شکل در دو بعد است، SICM می‌تواند با فراهم کردن داده‌های کمّی سه‌بعدی در سطح سلولی یا زیرسلولی، برای بررسی تغییر شکل سلول‌های زنده نیز به کار رود. توان تفکیک بسیار بالای این روش به محقق اجازه می‌دهد نواحی مختلف سلول از جمله بدنه سلول، آماس‌های عصبی و نواحی سطحی تشخیص داده شوند [۳].

پی‌نوشت

۱. کارشناس ارشد میکروبیولوژی، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران
۲. دکتری مواد و متالورژی، دانشگاه امیرکبیر
۳. کارشناس ارشد شیمی تجزیه، پژوهشگاه صنعت نفت
۴. کارشناس ارشد شیمی فیزیک، پژوهشگاه صنعت نفت
۵. عضو کارگروه تخصصی میکروسکوپ روبشی پیمایشی شبکه آزمایشگاهی

6. Atomic-force microscopy (AFM)
7. Icon conductance microscopy (ICM)
8. Scanning Ion Conductance Microscopy (SICM)
9. Hansma
10. Scanning Probe Microscope (SPM)
11. Tapping
12. Y. E. Korchev
13. Melanocytes
14. Gorelik
15. Feedback
16. Current-clamp
17. Voltage-clamp
18. Lock-in amplifier
19. Backstep
20. Floating backstep
21. Feedback loop
22. Hall
23. Hopping
24. In-vitro
25. Differentiated oligodendrocyte
26. Mature
27. Zhang
28. Self-assembly
29. Motility
30. Endothelial
31. In-situ
32. real-time

مراجع

[1] http://www.parkafm.com/AFM_guide/spm_modes_6, park systems corp. Date retrived: 05,08,2012.

[2] The free encyclopedia, Date retrived: 05,08,2012.

[3] P. Happel, F. Wehner and I. D. Dietzel, Scanning ion conductance microscopy–a tool to investigate electrolyte-nonconductor interfaces, Modern Research and Educational Topics in Microscopy, FORMATEX 2007, 968-975.

[4] Shuai Zhang, Sang-Joon Cho, Katerina Busuttil, Chen Wang, Flemming Besenbacher and Mingdong Dong, Scanning ion conductance microscopy studies of amyloid fibrils at nanoscale, Nanoscale, 2012, 4, 3105-3110, DOI: 10.1039/C2NR12049F.

[5] Hansma, P.; Drake, B; Marti, O; Gould, S.; Prater, C. (1989). "The scanning ion-conductance microscope". Science 243 (4891): 641–3. doi:10.1126/science.2464851. PMID 2464851.

[6] Y.E. Korchev, M. Milovanovic, C.L. Bashford, D.C. Bennett, E.V. Sviderskaya, I. Vodyanoy and M.J. Lab, Journal of Microscopy 188, 17 (1997).

[7] Y.E. Korchev, C.L. Bashford, M. Milovanovic, I. Vodyanoy and M.J. Lab, Biophysical Journal 73, 653 (1997).

[8] “Ion Channels in Small Cells and Subcellular Structures Can Be Studied with a Smart Patch-Clamp System”, Gorelik, Gu, Spohr, Shevchuk, Lab, Harding, Edwards, Whitaker, Moss, Benton, Sanchez, Darszon, Vodyanoy, Klenerman, Korchev. Biophysical Journal (2002): Vol. 83, 3296-3303.

[9] http://www.parkAFM.com, Nanotechnology Solutions Partner.

[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_ion-conductance_microscopy, Wikipedia.

[11] H. Olin, Design of a scanning probe microscope, Meas. Sci. Techno! 5 (1994) 976-984. Printed in the UK.

[12] Y. E. Korchev, C. L. Bashford, M. Milovanovic, I. Vodyanoy and M. J. Lab, Scanning ion conductance microscopy of living cells, Biophys J. 1997 August; 73(2): 653–658.

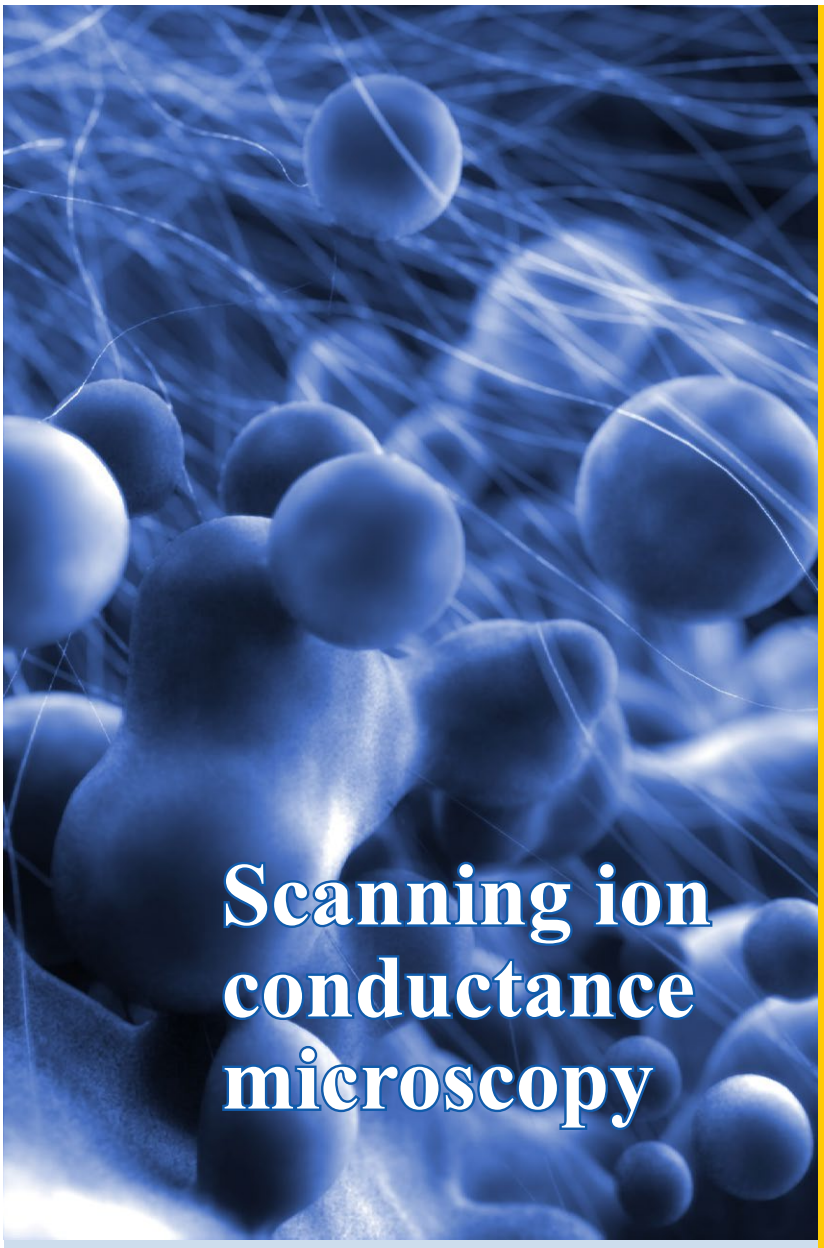
[13] William Fletcher, an attempt to model ion conductance when a SICM approaches a flat surface, abacus.gene.ucl.ac.uk/will/files/sicm.pdf.

[14] http://www.imperial.ac.uk/departmentofmedicine/divisions/experimentalmedicine/pathology.

[15] Scanning ion conductancemicroscopy studies of amyloidfibrils at nanoscale, Shuai Zhang Sang-Joon Cho Katerina Busuttil Chen Wang Flemming Besenbacher Mingdong Dong, Nanoscale, 2012, 4, 3105-3110.

[16] Michele Miragoli and et.al Scanning ion conductance microscopy: a convergent high-resolution technology for multi-parametric analysis of living cardiovascular cells, J R Soc Interface. 2011 July 6; 8(60): 913–925. Published online 2011 February 16. doi: 10.1098/rsif.2010.0597.

Volume 5 ■ Issue 2 ■ Summer 2017 ■ No.18
Iranian Journal of laboratory Knowledge



Scanning ion conductance microscopy

Authors

Somayeh jalilzadeh[1,5]*
Pirooz marashi[2,5]
Sedigheh Sadegh Hassani[3,5]
Zahra Sobat[4]

* Somayehjalilzadeh@yahoo.com

1. BSc in Microbiology, Chemistry and Chemical Engineering Research Center of Iran
2. Ph.D in Metallurgy, Amir Kabir University
3. MSc in analytical chemistry, Research institute of petroleum industry (RIPI)
4. MSc in Ohysical Chemictry, Research institute of petroleum industry (RIPI)
5. Laboratory Network, SPM Experts workgroup.

Abstract

Concerning the nature of the work, fire in Nano labs is different from other types of fire, especially in the field of combustible materials. In fact, because of the existence of different types of high combustible chemicals in Nano labs, the potential of firing is high. Meanwhile in other labs, because of larger particles, it is less likely. Negligence about working with chemicals in Nano labs and the lack of personnel awareness in this field can cause explosion or widespread fires, therefore very serious damages will be made for the personnel, the constructions of laboratories and the equipment.

Keywords

Scanning ion conductance microscopy, living cell, micro pipette probe, Electrophysiology

Author
Pedram Malaekeh
pedrammalaekeh@yahoo.com
BSc. of Chemical Engineering – MSc. Of Mechanical Engineering.

Differential Scanning Calorimetry with Functional Approach

Abstract

Methods of thermal analysis and among the most widely used of them, DSC, in terms of design and manufacturing processes and measuring properties of products is very important. According to the theory of the ICTAC, differential scanning calorimetry is a thermal analysis method, in which a sample is exposed to a controlled temperature change, how to change its thermal properties as a function of temperature continuously will be measured. In this paper, the definitions and principles of this method in addition to its widely usages will be discussed, then DSC calorimeter will be introduces and parameters that can be calculated by this method, selection of crucibles suitable for each test sample according to types of samples in terms of physical condition as well as crucibles for special tests, test data, improve and optimization of them with the results of a study using the Taguchi method optimizer, new methods of DSC, methodology and applications and a variety of related devices, will be studied. From the obtained results of the application of Taguchi method we can understand, identification of optimal scanning speed, type of proper crucibles, type and rate of operator gas, temperature gradient that is created and the time it takes to cross the crucible wall are effective in accuracy of measured data and power of results.

Keywords

Thermal Analysis, Differential Scanning Calorimetry, Heat Flow, Crucible, Test Data

Volume 5 ■ Issue 2 ■ Summer 2017 ■ No.18
Iranian Journal of laboratory Knowledge

Authors
Samaneh ghofrani[1,3*]
Masumeh Madanipour[2,3]
* Samaneh_ghofrani@yahoo.com

1. Materials & Energy Research Center, Material Sience Engineering.Msc
2. Iranian Mineral Processing Research Center, Material Sience Engineering.Msc
3. Laboratory Network, SEM Experts workgroup

Preparation of agglomerated nanopowders for SEM

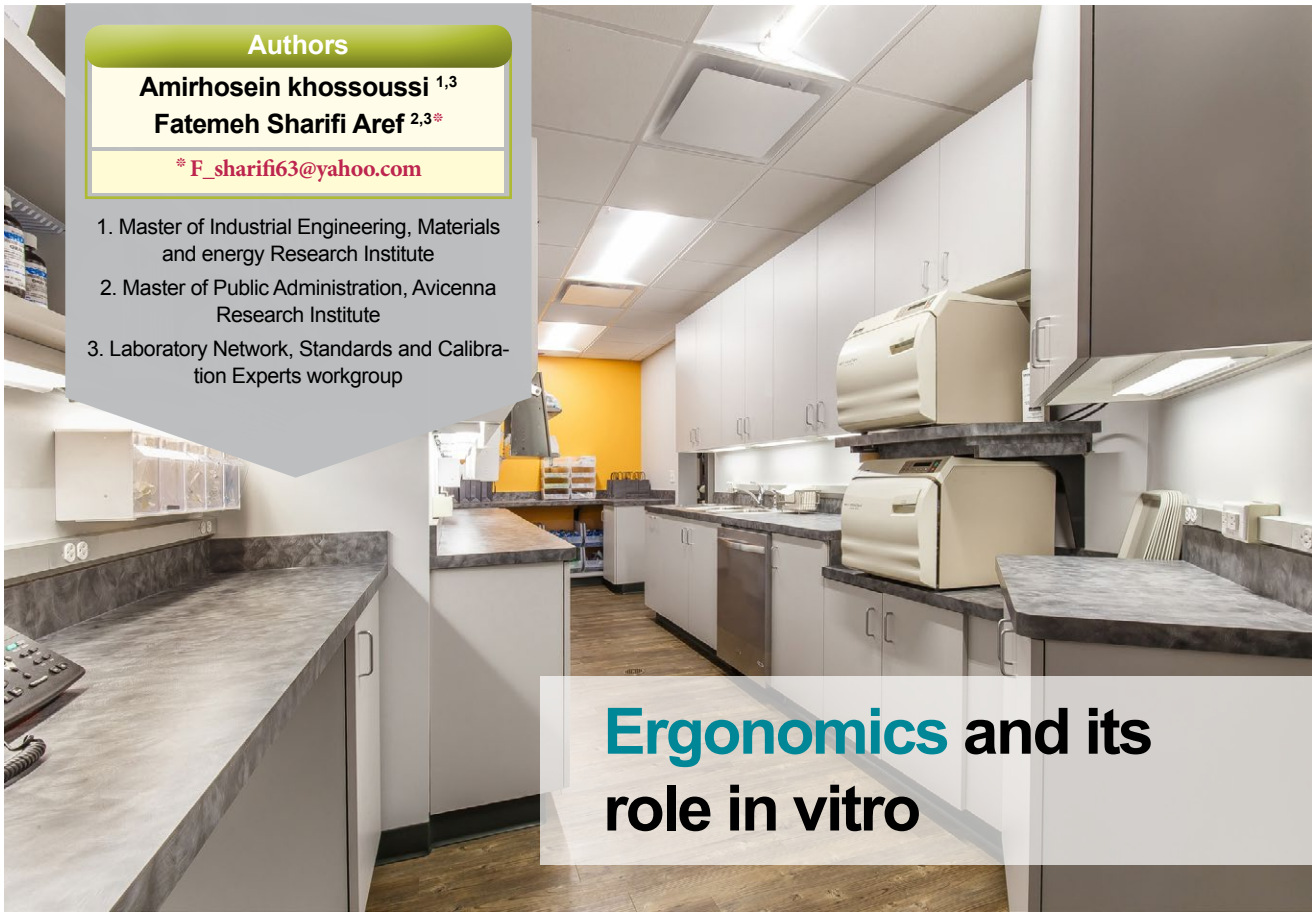
Abstract

Imaging with scanning electron microscope, is important to achieve high quality images. The sample preparation is an effective step to have favorable images. Powders preparation for scanning electron microscopy requires experience and knowledge in this field and in most cases initial preparation can facilitate imaging in next steps.

In this paper, after a glimpse of the preparation of powders, powders categorized into two groups: micron and submicron powders (nanometer range). How proper preparation and presentation of each application steps for the elimination of powder agglomeration problems have been explained.

Keywords

scanning electron microscope, powder preparation, agglomeration.



Authors
Amirhosein khossoussi [1,3]
Fatemeh Sharifi Aref [2,3*]
* F_sharifi63@yahoo.com
1. Master of Industrial Engineering, Materials and energy Research Institute
2. Master of Public Administration, Avicenna Research Institute
3. Laboratory Network, Standards and Calibration Experts workgroup

Ergonomics and its role in vitro

Abstract

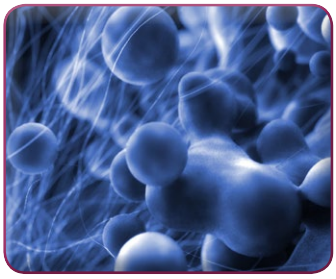
Ergonomics or human factors engineering is to try a combination of tools, devices, work environment and jobs due to physical abilities - intellectual and limitations and human interests, the design. This science with the aim of increasing productivity, with the health, safety and well-being in the workplace, is formed Neglecting the principles of ergonomics in laboratories reduces the efficiency and increase the stress of employees. The use in the workplace can lead to elimination or reduction of injuries and health problems and lead to job safety and increase efficiency in the lab. ILO, the term ergonomics is meant to fit the job is defined to humans. Lab managers could also provide proper safety by applying ergonomics to increase the quality and quantity of staff in providing laboratory services to their clients. The main objective of this paper is ergonomic laboratory.

Keywords

ergonomics, ergonomics, workplace, employee performance, employee safety.

Contents

Articles



Scanning ion conductance microscopy

33 <

Differential Scanning Calorimetry with Functional Approach

> 34

Preparation of agglomerated nanopowders for SEM

35 <

Ergonomics and its role in vitro

> 36

Iranian Journal of
Laboratory Knowledge

Volume 5 ▪ Issue 2 ▪ Summer 2017 ▪ No.18

ISSN 2538-3450

Concessionaire: Iran Nanotechnology Laboratory Network

Managing Editor: Reza Asadifard

Editor in Chief: Mojtaba Nasab

Executive Management: Iran Nanotechnology laboratory network (INLN)

Article Editor: Davoud Gharailou

Authors:
Amirhosein khossoussi, Fatemeh Sharifi Aref, Samaneh ghofrani, Masumeh Madanipour, Pedram Malaekeh, Somayeh jalilzadeh, Pirooz marashi, Sedigheh Sadegh Hassani, Zahra Sobat

Designer : Simin Rafipour Langroudi

Editor: Zeinab Zarincheh

Iran, Tehran, Po.Box: 14565-344

www.IJLK.ir

Email : journal@nanolab.ir

Iran Nanotechnology
Laboratory Network

Iran Nanotechnology Laboratory Network

Iranian Journal of

laboratory Knowledge

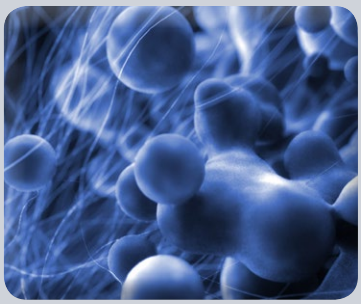
ISSN 2538-3450

Volume 5 ■ Issue 2 ■ Summer 2017 ■ No.18

Preparation of agglomerated nanopowders for SEM

Differential Scanning Calorimetry with Functional Approach

Ergonomics and its role in vitro



Scanning ion conductance microscopy

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir