**فصلنامه علمی رهیافت‌های نوین در مطالعات اسلامی**

**License Number: 85625 Article Cod: Y4N10A15332 ISSN-P: 2676-6442**

# اهداف فناوری نانوتکنولوژی در علم پزشکی و کاربردهای خاص نانو

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۰/۱۵، تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۳/۱۸)

**لادن میرزایی**

آموزگار ابتدایی پایه ششم مدرسه رضوان رجایی

## چکیده

نانوتکنولوژی یک فرایند تولید مولکولی است. همانطور که طبیعت مجموعه‌ها را بطور خودکار مولکول به مولکول ساخته و روی هم مونتاژ کرده است، ما هم باید برای تولید محصولات جدید، با این اعتقاد که هرچه در طبیعت تولید شده قابل تولید در آزمایشگاه نیز هست، نظیر طبیعت راهی پیدا کنیم. البته منظور این نیست که چند هسته از مواد راپیدا کنیم و با رساندن انرژی و خوراک پس از چند سال یک نیروگاه از آن بسازیم که شهری را برق دهد. بلکه برای ترکیب و تکامل خودکار تولیدات مادون ریزکه به نحوی در مجموعه‌های بزرگتر مصرف دارد، راهی بیابیم. در اندازه‌های مادون ریز، روشها و ابزارآلات متعارف فیزیکی مانند تراشیدن و خم کردن و سوراخ کردن و...جوابگو تیستند. برای ساختن ماشینهای ملکولی باید روش پروسه‌های طبیعی را دنبال کرد. با تهیه نقشه‌های ساختاری بدن یعنی آرایش ژنها و DNA که ژنم نامیده شده است و به موازات آن دست یافتن به تکنولوژی مادون ریز، در دراز مدت تحولات بسیاری در هستی ایجاد خواهد شد. تولید مواد جدید، گیاهان، جانداران و حتی انسان متحول خواهد شد. اشکالات ساختاری موجودات در طبیعت رفع می‌شود و با ترکیب و خواص اورگانیک گیاهان و جانوران، موجودات جدیدی با خواص فوق العاده و شخصیتهای متفاوت بوجود خواهد آمد. در این مقاله قصد داریم به بررسی و اهداف فناوری نانوتکنولوژی در علم پزشکی بپردازیم و کاربردهای خاص نانو را مورد بررسی و تحقیق قرار دهیم.

**واژگان کلیدی**: نانو، نانوتکنولوژی، علم پزشکی، تکنولوژی نوین، علم روز

## بخش اول: بررسی و شناخت نانوتکنولوژی

نانو تکنولوژی از یک رشته علمی خاص مشتق نمی‌شود. با وجودی که نانو تکنولوژی بیشترین

وجه مشترک را با علم مواد دارد، خواص اتم و ملکول شالوده بسیاری از علوم است و در نتیجه دانشمندان حوزه‌های علمی به آن جذب می‌شوند. برآورد می‌شود در سراسر جهان حدود ۲۰/۰۰۰ نفر در نانو تکنولوژی کار می‌کنند. تحقیقات در مقیاس بسیار ریز در رشته‌های الکترونیک، نوروبیوتکنولوژی به ترتیب نانوالکترونیک، نانو اپتیکس و نانو بیوتکنولوژی نیز نامیده می‌شود. پیشوند نانو از کلمه یونانی به معنای کوتوله مشتق می‌شود. براساس برآورد شرکت لاکس ریسرچ در نیوریورک، بودجه کل تحقیق و توسعه نانو تکنولوژی دولت‌ها و شرکت‌ها در سراسر جهان در سال ۲۰۰۴ بیش از ۸/۶میلیارد دلار بود. نیمی از این بودجه از جانب دولت‌ها تأمین می‌شد. اما به پیش بینی لاکس ریسرچ در سال‌های اینده، شرکت‌ها احتمالاً بودجه بیشتری از دولت‌ها صرف این علم خواهند کرد. در آمریکا، پس از طرح فرستادن انسان به کره ماه، نانو تکنولوژی بیشترین بودجه را از دولت فدرال دریافت کرده است. در سال،۲۰۰۴ دولت آمریکا ۱/۶میلیارد دلار صرف نانو تکنولوژی کرد، یعنی دو برابر بودجه طرح ژنوم انسان در اوج انجام آن. در سال ۲۰۰۵ قرار است ۹۸۲میلیون دلار دیگر صرف آن شود. در مکان دوم بودجه نانو تکنولوژی ژاپن قرار دارد. بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند هند، چین، آفریقای جنوبی و برزیل جزو کشورهایی هستند که بیشترین بودجه را در این زمینه صرف می‌کنند. در خلال شش سال پیش از،۲۰۰۳ سرمایه گذاری در نانو تکنولوژی توسط سازمان‌های دولتی هفت برابر شده است. این حجم سرمایه گذاری انتظارات را به اندازه‌ای افزایش داده است که شاید قابل تحقق نباشد. برخی معتقدند شرکت‌های نانو تکنولوژی مانند حباب شرکت‌های اینترنت در سال‌های اخیر از بین خواهند رفت. اما دلایلی وجود دارد که نشان می‌دهد درباره مخاطرات آن گزافه گویی شده است. سرمایه گذاران خصوصی اکنون بسیار محتاط تر از دوره رونق شرکت‌های اینترنت هستند و بیشتر پولی که دولت‌ها در این زمینه اختصاص می‌دهند، صرف علوم پایه و فناوری‌هایی می‌شود که تا سال‌ها در اختیار همگان قرار نخواهد گرفت.

با این حال کیفیت برخی محصولات موجود با کاربرد نانو تکنولوژی بهبود یافته است و در چند سال اینده بر تعداد آنها افزوده خواهد شد. مثلاً با افزودن ذرات ریز نقره، بانداژ ضد

سوختگی خاصیت ضد میکروبی پیدا کرده است. با اتصال ملکول‌های ایجاد کننده مانع به فیبر پنبه، پارچه‌هایی تولید شده است که ضد لکه و بو است. راکت‌های تنیس با افزودن ذرات ریز تقویت شده است. در درازمدت نانو تکنولوژی به نوآوری‌های بزرگتری خواهد انجامید، از جمله انواع جدید حافظه کامپیوتر، فناوری پزشکی و روش‌های تولید انرژی بهتر مانند سلول‌های خورشیدی. طرفداران این فناوری می‌گویند نانو تکنولوژی به تولید انرژی پاک و تولید بدون مواد زائد و غیره خواهد انجامید. مخالفان آن معتقدند نانوتکنولوژی باعث ایجاد نوعی نظام شناسایی بین المللی و آسیب به فقرا، محیط زیست و سلامت انسان خواهد شد. به نظر می‌رسد هر دو گروه در مورد استدلال‌های خود گزافه گویی می‌کنند، اما به هرحال باید از نانو تکنولوژی استقبال کرد.

## بخش دوم: بررسی اهمیت نانوتکنولوژی در صنایع نیمه‌هادی

صنایع نیمه‌هادی در سیر تکامل خود در حال رسیدن به نقطه‌ای است که توانایی آن برای تولید نقاط کوچکتر با مشکلاتی جدی همچون اثرات کوانتومی و نوسانات سطوح اتمی روبرو خواهد شد. مشکلات دیگر در راه پیشرفت عبارتند از مصرف بالا، اتلاف حرارت و هزینه بسیار بالای ساخت. این مسائل در اینده مانعی سخت برای تولید نیمه‌هادی‌های کارآمد خواهد بود. به گفته، نانوتکنولوژی به ادامه پیشرفت و تولید کمک خواهد کرد و همچنین فناوری‌های جدید را قادر خواهد ساخت تا گوی سبقت را در جلب رضایت بازار از بربایند.غول‌های بزرگ صنعتی همچون فری‌اسکیل، آی‌بی‌ام، اینفینئون و اینتل پشتوانهٔ مهمی برای نانوحافظه‌ها به حساب می‌ایند. یک گزارش جدید از بیانگر این مطلب است که همان‌طورکه روش‌های کنونی لیتوگرافی به پایان راه خود رسیده‌اند، ابزارهایی که برای توسعه، تولید و آزمایش به کار می‌روند، نیز باید بر پایهٔ نانوتکنولوژی طرح‌ریزی گردند. پرتوافکن مستقیم الکترونیکی که در تولید Aبه کار می‌رود، نمونه‌های از ابزاری است که به کمک نانوتکنولوژی بوجود آمده‌است. اما نانومارکتز معتقد است که کاربرد واقعی نانوتکنولوژی در تولید محصولات جدید، با توجه به خصوصیات مواد مقیاس نانو می‌باشد. بخش‌هایی از صنعت نیمه‌هادی که بیشترین تأثیر نانوتکنولوژی در آنها دیده می‌شود خارج از مقوله قرار دارند. به گفته نانومارکتز

این موضوع در موارد زیر به وضوح دیده می‌شود:

حافظه غیرفرار: حافظه غیرفرار یکی از عوامل تقویت محاسبات سیار است. اما با توجه به اینکه حجم و سرعت فناوری محدود می‌باشد، حافظه‌های جدید که در طراحی آنها از نانوتکنولوژی بهره گرفته شده است، کارایی بهتری را از خود نشان داده‌اند. وM نمونه‌هایی از این نوع حافظه‌ها هستند.

الکترونیک پلیمری: سونی، زیراکس و سایرین آماده‌اند که محصولات الکترونیک لایه نازک را وارد بازار کنند. الکترونیک پلیمری، برخلاف، از خصوصیات حرارتی بسیار خوبی برخوردار است و هزینه تولید در حجم کم را پایین می‌آورد. این خصوصیات امکان تولید محصولات جدیدی را به وجود می‌آورد. در سال ۲۰۰۶ نمایشگرهای بزرگ رولی و همچنین برچسب‌های با قیمت پایین تولید خواهد شد که امکان استفاده از آنها برای اجناس یک‌بارمصرف فراهم خواهد شد.

نانوحسگر: نانوحسگرها نسبت به رقبای خود از آستانه تشخیص بسیار پایین‌تری برخوردارند. آنها قادرند در زمینه کشف امراض بیولوژیک نقش مهمی را ایفا کنند. به گونه‌ای که در مورد اعلام وجود سرطان، از سرعت بسیار زیادی برخوردارند. گزارش بیانگر این مطلب است که نانوتکنولوژی به‌زودی می‌تواند در مدیریت حرارتی و اتصالات داخلی پرسرعت، به میزان قابل‌توجهی کمک نماید. در زمینه اتصالات داخلی پرسرعت می‌توان از نانولوله‌ها استفاده نمود زیرا توانایی آنها در انتقال جریان از مس خیلی بیشتر است و می‌توان آنها را به روش‌های قابل انطباق باها رشد داد (اینفینئون در سال ۲۰۰۲ این قابلیت را نشان داد). از نانولوله‌ها می‌توان خنک‌کننده‌های بسیار خوبی برای رفع مشکلات حرارتی ساخت (همانند قطعاتی که اینتل از سال ۲۰۰۲ به بعد به کارشان گرفت) و یا می‌توان با ایجاد جرقه بین آنها جریانی از هوای خنک تولید نمود. از این گزارش چنین نتیجه گرفته می‌شود که فرصت‌های قابل توجهی در نانوالکترونیک وجود دارد. به‌گونه‌ای که در سال ۲۰۰۶ نانوحافظه‌ها به تنهایی ۳/۱ میلیارد دلار سودآوری خواهند داشت. همان‌گونه که در بالا توضیح داده‌شد، این امر هم‌اکنون در قالب روش‌های جدید برای تکمیل‌ها آغاز شده‌است. این گزارش نشان می‌دهد که سازندگان

نیمه‌هادی‌ها از هم‌اکنون باید به فکر طرح ریزی برای به‌کارگرفتن نانوتکنولوژی در تولیدات خود باشند. در غیر این‌صورت باید از دست دادن تولیدات بزرگ اینده را بپذیرند، که البته پذیرفتن این ریسک بسیار دور از ذهن به‌نظر می‌رسد.

نانو فیزیک: اصولاً اتصالات نیم رسانا - فلز جزو لازمه تمامی قطعات الکترونیکی اند. چگونگی و رفتار اتصالات الکتریکی به غلظت سطح نیم رسانا (SI)، تمیزی سطح و واکنش‌های بین فصل مشترک فلز - نیم رسانا بستگی دارد. بعد از ابداع ترانزیستور توسط جان باردین، مفهوم و اهمیت مدارهای مجتمع روشن شد. پس از آن موفقیت بزرگ تجمع و اتصال تعداد بسیار زیادی از قطعات کوچک و اجزای الکترونیکی بر سطح زیر لایه تحول عظیمی در ساخت عملی مدارهای مجتمع بوجود آورد. با ابداع و رشد فناوری مینیاتور کردن قطعات الکترونیکی بشر به یکی از مهمترین دستاوردهای خود در قرن گذشته نائل آمد.

## بخش سوم: نگاهی به اهداف فناوری نانو

از اهداف مهم فناوری نانو و شاید مهم‌ترین آنها به وجود آوردن ساختارهایی از مواد است که در آنها آرایش مولکول‌ها از پیش طراحی شده باشد. روش‌های مرسوم تولید، مثل روش ذوب فلزات و سرد کردن آنها در قالب، چنین امکانی را فراهم نمی‌کنند. پس چگونه می‌توان چنین ساختارهایی را به وجود آورد؟ این مقاله می‌خواهد به همین سؤال پاسخ بگوید.

فرض کنید تعدادی آجر خانه‌سازی دارید و می‌خواهید با آن چیزی بهتر است بگوییم «ساختاری» مانند شکل ۱ بسازید.

**شکل ۱**

چگونه این کار را انجام می‌دهید؟ احتمالاً روش شما هم با ما یکی است: چهار آجر دو در دو را کنار هم می‌گذارید و بعد چهار آجر دو در دوی دیگر را به صورت عمودی به آنها متصل می‌کنیدتا ساختار مورد نظر شکل بگیرد. بسیار خوب، حالا فرض کنید که وقتی آجرهای خانه‌سازی را از فروشگاه می‌خرید، آنها به شکل یک مکعب بزرگِ پیش‌ساخته مثل شکل دو باشند.

**شکل ۲**

حالا اگر بخواهیم به شکل یک برسیم چه کنیم؟ اجازه دهید جواب را ما به روش خودمان بدهیم :آجرهای اضافی مکعب بزرگ را حذف کنید تا شکل یک کم‌کم خودش را نشان بدهد. (مثل شکل۳)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**شکل ۳**

در روش اول با استفاده از قطعات کوچک یک قطعهٔ بزرگتر ساختیم. به این روش، «ساختن از پایین به بالا» می‌گوییم. در روش دوم قطعات زائدِ یک قطعهٔ بزرگ را حذف کردیم تا به ساختار مورد نظر برسیم. به این روش، «ساختن از بالا به پایین» می‌گوییم. حالا فرض کنید یک ساختار جدید برای ساختن پیشنهاد شود، مثل شکل ۴.

**شکل ٤**

سؤال: از کدام روش برای ساختن این ساختار استفاده کنیم؟ نظر شما چیست؟

اوضاع کمی پیچیده شد، اما غم به خود راه ندهید! این مقاله برای ساده کردن همین پیچدگی نوشته شده است. یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ جواب، این است که ماده‌ی اولیه‌ی ما به چه شکل است؟ اگر مادهٔ دمِ دست ما تعدادی قطعه‌ی کوچک و ریز باشد، از روش پایین به بالا استفاده می‌کنیم؛ اگر مادهٔ اولیه یک قطعه‌ی بزرگ باشد، از روش بالا به پایین استفاده می‌کنیم. در عین حال، ممکن است هر دو روش هم به کار رود. مثلاً اگر ماده‌ی اولیه برای ساختن شکل پنج به صورت مکعب بزرگی با آجرهای دو در چهار، یعنی همان شکل دو باشد، نمی‌توان با حذف بعضی آجرها مستقیماً به ساختار نهایی رسید. در این حالت، می‌توانیم آجرهای بالا و پایین ساختار شکل چهار را برداریم (ساختن از بالا به پایین) و بعد دو آجر دودردوی مورد نیاز را به جای آنها متصل کنیم. (ساختن از پایین به بالا( در صنعت هم از هر دو روش با هم استفاده می‌شود. به مثال‌های زیر توجه کنید. یک نجار می‌خواهد مجسمه‌ای چوبی بسازد. او

یک قطعه‌ی بزرگ چوب را برمی‌دارد و با رنده و سوهان آن را می‌تراشد و پرداخت می‌کند تا مجسمه ساخته شود. این کدام روش است؟

نجار می‌خواهد یک صندلی بسازد. او پایه‌های میز و قطعات مربوط به تکیه‌گاه صندلی را جداگانه می‌سازد و بعد آنها را به هم متصل می‌کند. این کدام روش است؟

حالا به نانوفناوری فکر کنید: به نظر شما کدام روش ساختن در نانوفناوری کاربرد دارد؟

تا چند سال پیش، راه دست‌کاری و جابه‌جا کردن تک‌مولکول‌ها و ساختارهای نانویی یک‌طرفه بود. یعنی برای ساختن چیزها در مقیاس کوچک، می‌بایست یک قطعه‌ی بزرگ‌تر را با تراشیدن و خرد کردن یا حل کردن بخش‌های اضافی با اسید و... آن‌قدر کوچک میکردیم تا به قطعه‌ی نهایی برسیم. به عبارت دیگر، روش تولید ساختارهای کوچک، از نوع بالا به پایین بود.

در چند سال اخیر فنونی ابداع شده‌اند که اجازه می‌دهند مولکول‌ها یا ذرات نانویی را جابه‌جا و آنها را به هم متصل کنیم. مثل جابه‌جا کردن ذرات نانویی با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)یا فنون ساختن نانولوله‌های کربنی. این فوت و فن‌ها در مجموع روش ساختن از پایین به بالا هستند. فنون گفته‌شده در بالا، برای ساختن محصولاتی که بسیار کوچک‌اند مناسب به نظر می‌رسند، اما اگر بخواهیم یک دیوار چندسانتی‌متری یکدست را به این روش بسازیم، چند ده سال طول میکشد تا مولکول‌ها را تک‌تک کنار هم بچینیم و دیوار مورد نظر را بسازیم. در عین حال، اگر بخواهیم دیوار را با استفاده از مواد موجود، مانند فلزات و سنگ‌های ساختمانی، بسازییم، دیوار یکدست و منظم نخواهد بود. (مقاله‌ی نانوفناوری چیست؟، ساختار مواد و عیوب کریستالی را ببینید.) پس چه کار کنیم؟ پیدا کردن فنون تولید مناسب در نانوفناوری موضوعی است که در چند سال اخیر به‌شدت مورد توجه محققان و دانشمندان بوده است. در واقع، در نانوفناوری هم از روش ساختن از بالا به پایین استفاده می‌شود (به کمک فنونی مانند لیتوگرافی و آسیاب کردن ذرات) و هم از روش ساختن از پایین به بالا (به کمک فنونی مانند خودآرایی یا رسوب‌دهی بخار). منتظر مقاله‌های بعدی باشگاه نانو در این موضوع باشید.

## بخش سوم: بررسی اجمالی شاخه‌های فناوری نانو

هنگامی که درباره نانوفناوری شروع به جستجو و مطالعه کنید، به موضوعات و مواد مختلفی بر می‌خورید مانند:"نانولوله ها، شبیه سازی مولکولی، نانوداروها، سلول‌های سوختی، کاتالیزورها، نانوذرات و..." بنابراین ممکن است نانوفناوری رشته‌ای کاملا گسترده به نظر آید که موضوعات آن ربط چندانی به هم ندارند. به طور کلی مطالعات نانوفناوری را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. اگرچه روشهای تحقیقاتی در آن‌ها بایکدیگر متفاوت است، اما این سه شاخه کاملا به یکدیگر مرتبط هستند و پیشرفت در یکی از شاخه‌ها میتواند در شاخه‌های دیگر کاملا موثر باشد. این سه شاخه عبارتنداز:

۱- نانوتکنولوژی مرطوب: این شاخه به مطالعه سیستم‌های زنده‌ای می‌پردازد که اساسا در محیطهای آبی وجود دارند. در این شاخه ساختمان مواد ژنتیکی، غشاءها و سایر ترکیبات سلولی در مقیاس نانومتر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پژوهشگران موفق شده اند ساختارهای زیستی فراوانی تولید کنند که نحوه عملکرد آنها در مقیاس نانویی کنترل می‌شود. این شاخه دربرگیرنده علوم پزشکی،دارویی و به طور کلی علوم و روشهای مرتبط با زیست فناوری است.

۲- نانوتکنولوژی خشک: این شاخه از علوم پایه شیمی و فیزیک مشتق می‌شود و به مطالعه تشکیل ساختارهای کربنی، سیلیکون و مواد غیر آلی و فلزی می‌پردازد. نکته قابل توجه اینست که الکترونهای آزاد که در فناوری مرطوب موجب انتقال مواد و انجام واکنشها می‌گردند، در فناوری خشک خصوصیات فیزیکی ماده را پدید می‌آورند. در نانوتکنولوژی خشک کاربرد مواد نانویی در الکترونیک، مغناطیس و ابزارهای نوری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای مثال طراحی و ساختن میکروسکوپ‌هایی که بتوان با استفاده از آنها مواد را در ابعاد نانومتر دید.

۳- نانوتکنولوژی محاسبه ای: در بسیاری از مواقع ابزار آزمایشگاهی موجود برای انجام برخی از آزمایشها در مقیاس نانومتر مناسب نیستند و یا آنکه انجام این آزمایشها بسیار گران تمام می‌شود. در این حالت از رایانه‌ها برای شبیه سازی فرایندها و واکنش‌های اتم‌ها و مولکول‌ها استفاده می‌شود. شناختی که به وسیله محاسبه به دست می‌آید، باعث می‌شود که زمان پیشرفت

نانوتکنولوژی خشک به چند دهه کاهش یابد و البته تأثیر مهمی در نانوتکنولوژی مرطوب نیز خواهد داشت.

## بخش چهارم: نانو تکنولوژی علم خواص عجیب مواد

از نانوتکنولوژی، بیوتکنولوژی و فناوری اطلاع رسانی به عنوان سه قلمرو علمی نام می‌برند که انقلاب سوم صنعتی را شکل می‌دهد. از همین روست که کشورهای در حال توسعه که اغلب از دو انقلاب قبل جا مانده اند، میکوشند با سرمایه گذاری در این سه قلمرو، عقب ماندگی خود را جبران کنند. همان گونه که در این گزارش می‌خوانید، نانوتکنولوژی کاربردهای گسترده‌ای در تمام حیطه‌های زندگی دارد و از این رو توسعه آن می‌تواند به بهبود و تسهیل زندگی کمک فراوان کند. اتم سنگ بنای بنیادی ماده است و در نتیجه اتم‌ها بسیار کوچک هستند. توصیف و تصور جهان در سطح اتم و ملکول دشوار است. این حیطه از علم به قدری عجیب است که بخشی خاص از فیزیک به آن اختصاص یافته شده که مکانیک کوانتم نام دارد. هدف این علم برای توصیف رخدادها در سطح اتم است. اگر قرار بود توپ تنیس را به طرف دیوار پرتاب کنید و توپ از آن بگذرد و به سوی دیگر دیوار برود، حتماً تعجب میکردید. اما این دقیقاً همان اتفاقی است که در مقیاس کوانتم رخ می‌دهد. در مقیاس بسیار کوچک، خواص ماده مانند رنگ، مغناطیس و توانایی انتقال برق نیز به شکل غیرمنتظره تغییر می‌کند. دیدن جهان اتم به معنای عادی کلمه میسر نیست، چون خواص آن کوچکتر از طول موج نور قابل دیدن است. اما در سال ۱۹۸۱ پژوهشگران شرکت‌ای بی ام نوعی میکروسکوپ ساختند که نام آن STM بود. اسم این میکروسکوپ در واقع از یک خاصیت در مکانیک کوانتم گرفته شده بود که در میکروسکوپ یاد شده به کار می‌رود. این دستگاه می‌توانست پستی و بلندی‌های در مقایس جهان نانو را نشان دهد. میکروسکوپ STM این امکان را به دانشمندان داد که برای اولین بار اتم‌ها و ملکول‌ها را ببینند. تصاویر این میکروسکوپ به زیبایی و وضوح تصاویر طبیعت اما در مقیاس تصورناپذیر نانومتر بود. یک نانومتر یک میلیاردیم متر یا حدوداً به طول ۱۰ اتم هیدروژن است. با وجودی که دانشمندان از سال‌های دهه ۱۹۵۰ درباره بررسی مواد در این مقیاس تلاش کرده بودند، آنان ناچار شدند تا اختراع میکروسکوپ

STMصبر کنند تا به هدف خود برسند. عموماً در این باره توافق وجود دارد که نانوتکنولوژی اشیاء بین یک تا ۱۰۰ نانومتر را در بر می‌گیرد، هر چند که این تعریف تا حدی قراردادی است. برخی افراد اجسامی به کوچکی یک دهم نانومتر را نیز در نظر می‌گیرند که به اندازه پیوند بین دو اتم کربن است. در دیگر سوی این گستره در اجسام بزرگتر از ۵۰ نانومتر قوانین فیزیک کلاسیک صدق می‌کند. مواد بسیاری هستند که دارای خواص اجسام در مقیاس نانو هستند اما اسم نانوتکنولوژی به آنها اطلاق نمی‌شود. نانوتکنولوژی در پی آن است تا از خواص عجیب اجسام در مقیاس بسیار کوچک استفاده کند. جورج اسمیت سرپرست بخش علم مواد در دانشگاه آکسفورد گفت در مقیاس نانو، خواص «جدید، هیجان انگیز و متفاوتی» یافت می‌شود. با کوچک تر شدن اجسام، نسبت بین فضای سطح و حجم آن افزایش می‌یابد. این امر بدان علت مهم است که اتم‌های موجود در سطح یک ماده معمولاً بیشتر از اتم‌های مرکز آن واکنش نشان می‌دهند. از این رو، اگر نقره به ذرات بسیار کوچک تبدیل شود، خواص ضدمیکروبی پیدا می‌کند که در حجم انبوه آن وجود ندارد. یک شرکت با تولید ذرات ریز از ترکیب اکسید سدیم از این خاصیت استفاده می‌کند و ماده‌ای تولید می‌کند که خاصیت کاتالیزوری آن بیشتر است. در این جهان نادیدنی، ذرات کوچک طلا در دمای چند صد درجه پایین تر ذوب می‌شود و مس که معمولاً رسانای خوب الکتریسیته است، ممکن است در لایه‌های نازک و در مجاورت میدان مغناطیسی مقاوم شود. الکترون‌ها (مانند همان توپ تنیس خیالی) می‌توانند از نقطه‌ای به نقطه دیگر بجهند و ملکول‌ها می‌توانند همدیگر را از مسافت‌های متوسط جذب کنند. این خاصیت به برخی حشرات اجازه می‌دهد روی سقف راه بروند، چون موهای ریز کف پایشان به سقف می‌چسبد. اما یافتن خواص جدید در مقیاس نانو گام نخست است. گام بعدی استفاده از این دانش است. توانایی ساخت اجسام با دقت اتمی این امکان را به دانشمندان می‌دهد که موادی با خواص بهتر یا جدید نوری، مغناطیسی، حرارتی یا الکتریک تولید کنند. اکنون انواع جدیدی از ماده تولید می‌شود. مثلاً شرکت نانوسونیک در ویرجینیا لاستیک فلزی تولید کرده است. این ماده مانند لاستیک انعطاف و انحنا می‌پذیرد اما الکتریسیته را مانند فلزی محکم منتقل می‌کند. مرکز تحقیقاتی جنرال

الکتریک در پی ساخت سرامیک انعطاف پذیر است. در صورت موفقیت، از این ماده می‌توان در ساخت قطعات موتور جت استفاده کرد و موتورهایی ساخت که در دمای بیشتر با کارایی بهتری کار کند. چندین شرکت مشغول کار روی موادی هستند که روزی به صورت رنگ به سلول‌های خورشیدی بدل خواهد شد. از آنجایی که نانوتکنولوژی کاربردهای گسترده‌ای دارد، بسیاری از افراد فکر می‌کنند این علم اهمیتی به مانند برق یا پلاستیک پیدا کند. مطالعات نشان می‌دهد نانو تکنولوژی با بهبود مواد و محصولات و تولید مواد کاملاً جدید بر تمام صنایع تأثیر خواهد گذاشت. افزون براین، فعالیت در حد کوچکترین مقیاس‌ها به پیشرفت‌های مهم در عرصه‌هایی مانند الکترونیک، انرژی و پزشکی زیستی خواهد انجامید.

## بخش پنجم: بررسی اهمیت و کاربرد نانوتکنولوژی در علم پزشکی

یک باکتری مغناطیسی می‌تواند در امتداد میدان مغناطیسی زمین قرار گیرد و مطابق با آن بالا یا پایین برود تا مقصد مورد نظرش را پیدا کند. در سال ۱۹۶۶ فیلمی تخیلی با عنوان «سفر دریایی شگفت انگیز» اهالی سینما را به دیدن نمایشی جسورانه از کاربرد نانوتکنولوژی در پزشکی میهمان کرد. گروهی از پزشکان جسور و زیردریایی پیشرفته شان با شیوه‌ای اسرارآمیز به قدری کوچک شدند که می‌توانستند در جریان خون بیمار سیر کنند و لخته خونی را در مغزش از بین ببرند که زندگی او را تهدید میکرد. با گذشت ۳۶ سال از آن زمان، برای ساختن وسایل پیچیده حتی در مقیاس‌های کوچک تر گام‌های بلندی برداشته شده است. این امر باعث شده برخی افراد باور کنند که چنین دخالت‌هایی در پزشکی امکان پذیر است و روبات‌های بسیار ریز قادر خواهند بود در رگ‌های هر کسی سفر کنند. همه جانداران از سلول‌های ریزی تشکیل شده اند که خود آنها نیز از واحدهای ساختمانی کوچک تر در حد نانومتر (یک میلیاردم متر) نظیر پروتئین ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک تشکیل شده اند. از این رو، شاید بتوان گفت که نانوتکنولوژی به نحوی در عرصه‌های مختلف زیست شناسی حضور دارد. اما اصطلاح قراردادی نانوتکنولوژی به طور معمول برای ترکیبات مصنوعی استفاده می‌شود که از نیمه رساناها، فلزات، پلاستیک‌ها یا شیشه ساخته شده اند. نانوتکنولوژی از ساختارهایی غیرآلی بهره می‌گیرد که از بلورهای بسیار ریزی در حد نانومتر تشکیل شده اند و کاربردهای وسیعی

در زمینه تحقیقات پزشکی، رساندن داروها به سلول ها، تشخیص بیماری‌ها و شاید هم درمان آنها پیدا کرده اند.

در برخی محافل نگرانی‌های شدیدی در مورد جنبه منفی این فناوری به وجود آمده است؛ آیا این نانوماشین‌ها نمی‌توانند از کنترل خارج شده و کل جهان زنده را نابود کنند؟ با وجود این به نظر می‌رسد فواید این فناوری بیش از آن چیزی باشد که تصور می‌رود. برای مثال، می‌توان با بهره گیری از نانوتکنولوژی وسایل آزمایشگاهی جدیدی ساخت و از آنها در کشف داروهای جدید و تشخیص ژن‌های فعال تحت شرایط گوناگون در سلول ها، استفاده کرد. به علاوه، نانوابزارها می‌توانند در تشخیص سریع بیماری‌ها و نقص‌های ژنتیکی نقش ایفا کنند. طبیعت نمونه زیبایی از سودمندی بلورهای غیرآلی را در دنیای جانداران ارائه می‌کند. باکتری‌های مغناطیسی، جاندارانی هستند که تحت تاثیر میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند. این باکتری‌ها فقط در عمق خاصی از آب یا گل ولای کف آن رشد می‌کنند. اکسیژن در بالای این عمق بیش از حد مورد نیاز و در پایین آن بیش از حد کم است. باکتری‌ای که از این سطح خارج می‌شود باید توانایی شنا کردن و برگشت به این سطح را داشته باشد. از این رو، این باکتری‌ها مانند بسیاری از خویشاوندان خود برای جابه جا شدن از یک دم شلاق مانند استفاده می‌کنند. درون این باکتری‌ها زنجیره‌ای با حدود ۲۰ بلور مغناطیسی وجود دارد که هر کدام بین ۳۵ تا ۱۲۰ نانومتر قطر دارند. این بلورها در مجموع یک قطب نمای کوچک را تشکیل می‌دهند. یک باکتری مغناطیسی می‌تواند در امتداد میدان مغناطیسی زمین قرار گیرد و مطابق با آن بالا یا پایین برود تا مقصد مورد نظرش را پیدا کند. این قطب نما اعجاز مهندسی طبیعت در مقیاس نانو است. اندازه بلورها نیز مهم است. هر چه ذره مغناطیسی بزرگ تر باشد، خاصیت مغناطیسی اش مدت بیشتری حفظ می‌شود. اما اگر این ذره بیش از حد بزرگ شود خود به خود به دو بخش مغناطیسی مجزا تقسیم می‌شود که خاصیت مغناطیسی آنها در جهت عکس یکدیگرند. چنین بلوری خاصیت مغناطیسی کمی دارد و نمی‌تواند عقربه کارآمدی برای قطب نما باشد. باکتری‌های مغناطیسی قطب نماهای خود را فقط از بلورهایی با اندازه مناسب می‌سازند تا از آنها برای بقای خود استفاده کنند. جالب است که وقتی انسان برای ذخیره اطلاعات روی

دیسک سخت محیط‌هایی را طراحی می‌کند دقیقاً از این راهکار باکتری‌ها پیروی می‌کند و از بلورهای مغناطیسی در حد نانو و با اندازه‌ای مناسب استفاده می‌کند تا هم پایدار باشند و هم کارآمد. محققان در تلاش هستند تا از ذرات مغناطیسی در مقیاس نانو برای تشخیص عوامل بیماری زا استفاده کنند. روش این محققان نیز مانند بسیاری از مهارت‌هایی که امروزه به کار می‌رود به آنتی بادی‌های مناسبی نیاز دارد که به این عوامل متصل می‌شوند. ذرات مغناطیسی مانند برچسب به مولکول‌های آنتی بادی متصل می‌شوند. اگر در یک نمونه، عامل بیماری زای خاصی مانند ویروس مولد ایدز مد نظر باشد، آنتی بادی‌های ویژه این ویروس که خود به ذرات مغناطیسی متصل هستند به آنها می‌چسبند. برای جدا کردن آنتی بادی‌های متصل نشده، نمونه را شست وشو می‌دهند. اگر ویروس ایدز در نمونه وجود داشته باشد، ذرات مغناطیسی آنتی بادی‌های متصل شده به ویروس، میدان‌های مغناطیسی تولید می‌کنند که توسط دستگاه حساسی تشخیص داده می‌شود. حساسیت این مهارت آزمایشگاهی از روش‌های استاندارد موجود بهتر است و به زودی اصلاحات پیش بینی شده، حساسیت را تا چند صد برابر تقویت خواهد کرد. دنیای پیشرفته الکترونیک پر از مواد پخش کننده نور است. برای نمونه هر CDخوان، CD را با استفاده از نوری می‌خواند که از یک دیود لیزری می‌آید. این دیود از یک نیمه رسانای غیرآلی ساخته شده است. هر تصویر، قسمت کوچکی از یک CD به اندازه یک مولکول پروتئین (در حد نانومتر) را می‌کند. در نتیجه این عمل یک نانو بلور نیمه رسانا یا به اصطلاح تجاری یک «نقطه کوانتومی» ایجاد می‌شود.

فیزیکدانانی که برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ نقاط کوانتومی را مطالعه میکردند معتقد بودند که این نقاط در ساخت وسایل الکترونیکی جدید و وسایل دید استفاده خواهند شد. تعداد انگشت شماری از این محققان ابراز میکردند که از این یافته‌ها می‌توان برای تشخیص بیماری یا کشف داروهای جدید کمک گرفت و هیچ کدام از آنان حتی در خواب هم نمی‌دیدند که اولین کاربردهای نقاط کوانتومی در زیست شناسی و پزشکی باشد. نقاط کوانتومی قابلیت‌های زیادی دارند و در موارد مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از کاربردهای این نقاط نیمه رسانا در تشخیص ترکیبات ژنتیکی نمونه‌های زیستی است. اخیراً برخی محققان روش

مبتکرانه‌ای را به کار بردند تا وجود یک توالی ژنتیکی خاص را در یک نمونه تشخیص دهند. آنان در طرح خود از ذرات طلای ۱۳ نانومتری استفاده کردند که با DNA (ماده ژنتیکی) تزئین شده بود. این محققان در روش ابتکاری خود از دو دسته ذره طلا استفاده کردند. یک دسته، حامل DNA بود که به نصف توالی هدف متصل می‌شد و DNA متصل به دسته دیگر به نصف دیگر آن متصل می‌شد. DNAهدفی که توالی آن کامل باشد به راحتی به هر دو نوع ذره متصل می‌شود و به این ترتیب دو ذره به یکدیگر مربوط می‌شوند. از آنجا که به هر ذره چندین DNA متصل است، ذرات حامل DNA هدف می‌توانند چندین ذره را به یکدیگر بچسبانند. وقتی این ذرات طلا تجمع می‌یابند خصوصیاتی که باعث تشخیص آنها می‌شود به مقدار چشم گیری تغییر می‌کند و رنگ نمونه از قرمز به آبی تبدیل می‌شود. چون که نتیجه این آزمایش بدون هیچ وسیله‌ای قابل مشاهده است می‌توان آن را برای آزمایش DNA در خانه نیز به کار برد.

هیچ بحثی از نانوتکنولوژی بدون توجه به یکی از ظریف ترین وسایل در علوم امروزی یعنی میکروسکوپ اتمی کامل نمی‌شود. روش این وسیله برای جست وجوی مواد مانند گرامافون است. گرامافون، سوزن نوک تیزی دارد که با کشیده شدن آن روی یک صفحه، شیارهای روی آن خوانده می‌شود. سوزن میکروسکوپ اتمی بسیار ظریف تر از سوزن گرامافون است به نحوی که می‌تواند ساختارهای بسیار کوچک تر را حس کند. متاسفانه، ساختن سوزن‌هایی که هم ظریف باشند و هم محکم، بسیار مشکل است. محققان با استفاده از نانو لوله‌های باریک از جنس کربن که به نوک میکروسکوپ متصل می‌شود این مشکل را حل کردند. با این کار امکان ردیابی نمونه‌هایی با اندازه فقط چند نانومتر فراهم شد. به این ترتیب، برای کشف مولکول‌های زنده پیچیده و برهم کنش هایشان وسیله‌ای با قدرت تفکیک بسیار بالا در اختیار محققان قرار گرفت. این مثال و مثال‌های قبل نشان می‌دهند که ارتباط بین نانوتکنولوژی و پزشکی اغلب غیرمستقیم است به نحوی که بسیاری از کارهای انجام شده، در زمینه ساخت یا بهبود ابزارهای تحقیقاتی یا کمک به کارهای تشخیصی است. اما در برخی موارد، نانوتکنولوژی می‌تواند در درمان بیماری‌ها نیز مفید باشد. برای مثال می‌توان داروها را درون

بسته‌هایی در حد نانومتر قرار داد و آزاد شدن آنها را با روش‌های پیچیده تحت کنترل در آورد. یکی از نانوساختارهایی که برای ارسال دارو یا مولکول‌هایی مانند DNA به بافت‌های هدف ساخته شده، «دندریمر»ها هستند. این مولکول‌های آلی مصنوعی با ساختارهای پیچیده برای اولین بار توسط «دونالد تومالیا» ساخته شدند. اگر شاخه‌های درختی را در یک توپ اسفنجی فرو ببرید به نحوی که در جهت‌های مختلف قرار گیرند می‌توان شکلی شبیه یک مولکول دندریمر را ایجاد کرد. دندریمرها مولکول‌هایی کروی و شاخه شاخه هستند که اندازه‌ای در حدود یک مولکول پروتئین دارند. دندریمرها مانند درختان پرشاخه و برگ دارای فضاهای خالی هستند، یعنی تعداد زیادی حفرات سطحی دارند. دندریمرها را می‌توان طوری ساخت که فضاهایی با اندازه‌های مختلف داشته باشند. این فضاها فقط برای نگه داشتن عوامل درمانی هستند. دندریمرها بسیار انعطاف پذیر و قابل تنظیم اند. همچنین آنها را می‌توان طوری ساخت که فقط در حضور مولکول‌های محرک مناسب، خود به خود باد کنند و محتویات خود را بیرون بریزند. این قابلیت اجازه می‌دهد تا دندریمرهای اختصاصی بسازیم تا بار دارویی خود را فقط در بافت‌ها یا اندام‌هایی آزاد کنند که نیاز به درمان دارند. دندریمرها می‌توانند برای انتقال DNA به سلول‌ها جهت ژن درمانی نیز ساخته شوند. این شیوه نسبت به روش اصلی ژن درمانی یعنی استفاده از ویروس‌های تغییر ژنتیکی یافته بسیار ایمن تر هستند.

همچنین محققان ذراتی به نام نانوپوسته ساخته اند که از جنس شیشه پوشیده شده با طلا هستند. این نانوپوسته‌ها می‌توانند به صورتی ساخته شوند تا طول موج خاصی را جذب کنند. اما از آنجا که طول موج‌های مادون قرمز به راحتی تا چند سانتی متر از بافت نفوذ می‌کنند، نانوپوسته‌هایی که انرژی نورانی را در نزدیکی این طول موج جذب می‌کنند بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. بنابراین، نانوپوسته‌هایی که به بدن تزریق می‌شوند می‌توانند از بیرون با استفاده از منبع مادون قرمز قوی گرما داده شوند. چنین نانوپوسته‌هایی را می‌توان به کپسول‌هایی از جنس پلیمر حساس به گرما متصل کرد. این کپسول‌ها محتویات خود را فقط زمانی آزاد می‌کنند که گرمای نانوپوسته متصل به آن باعث تغییر شکلش شود. یکی از کاربردهای شگرف این نانوپوسته‌ها در درمان سرطان است. می‌توان نانوپوسته‌های پوشیده شده با طلا را به

آنتی بادی‌هایی متصل کرد که به طور اختصاصی به سلول‌های سرطانی متصل می‌شوند. از لحاظ نظری اگر نانوپوسته‌ها به مقدار کافی گرم شوند می‌توانند فقط سلول‌های سرطانی را از بین ببرند و به بافت‌های سالم آسیب نرسانند. البته مشکل است بدانیم آیا نانوپوسته‌ها در نهایت به تعهد خود عمل می‌کنند یا نه. این موضوع برای هزاران وسیله ریز دیگری نیز مطرح است که برای کاربرد در پزشکی ساخته شده اند.

## نتیجه گیری

محققان از نانوتکنولوژی در ساخت پایه‌های مصنوعی برای ایجاد بافت‌ها و اندام‌های مختلف نیز استفاده کرده اند. محققی به نام «ساموئل استوپ» روش نوینی ابداع کرده است که در آن سلول‌های استخوانی را روی یک پایه مصنوعی رشد می‌دهد. این محقق از مولکول‌های مصنوعی استفاده کرده است که با رشته‌هایی ترکیب می‌شوند که این رشته‌ها برای چسباندن به سلول‌های استخوانی تمایل بالایی دارند. این پایه‌های مصنوعی می‌توانند فعالیت سلول‌ها را هدایت کنند و حتی می‌توانند رشد آنها را کنترل کنند. محققان امیدوارند سرانجام بتوانند روش‌هایی بیابند تا نه فقط استخوان، غضروف و پوست بلکه اندام‌های پیچیده تر را با استفاده از پایه‌های مصنوعی بازسازی کنند. به نظر می‌رسد برخی از اهدافی که امروزه در حال تحقق هستند در اینده‌ای نزدیک توسط پزشکان به کار گرفته شوند. جایگزینی قلب، کلیه یا کبد با استفاده از پایه‌های مصنوعی شاید با فناوری که در فیلم سفر دریایی شگفت انگیز نشان داده شد، متناسب نباشد اما این تصور که چنین درمان‌هایی در اینده‌ای نه چندان دور به واقعیت بپیوندند بسیار هیجان انگیز است. حتی هیجان انگیزتر اینکه امید است محققان بتوانند با تقلید از فرایندهای طبیعی زیست شناختی، واحدهایی در مقیاس نانو تولید کنند و از آنها در ساخت ساختارهای بزرگ تر بهره گیرند. چنین ساختارهایی در نهایت می‌توانند برای ترمیم بافت‌های آسیب دیده و درمان بسیاری از بیماری‌ها به کار روند. البته محققان همواره برای رسیدن به اهداف ریز و درشت علمی تحقیقاتی خود نیازمند به دسته بندی‌ها و اولویت بندیها می‌باشند. با توفیقات نسبتا" خوبی که در زمینه‌های تحقیقاتی بیونانو تکنولوژی در فرایندهای بالا دستی بوجود آمده است، لزوم توجه بیشتر به فرایندهای پایین دستی بیونانو تکنولوژی بیش از پیش

نمایان می‌شود. البته نیاز پژوهش گران به بهینه سازی تولید نانو بیو مواد در ابعاد صنعتی همچنان از دغدغه‌های جدی در سالهای اینده می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع و مآخذ

### الف) منابع فارسی

[۱]محمد علی زلفی گل- هادی غلامی- وحید خاکی(۱۳۹۱)" بررسی نانو و مبانی سنتز ترکیبات آلی با نگرشی نوین"

[۲]. فتح اله کریم زاده- احسان قاسمعلی- سامان سالمی زاده(۱۳۸۴)" نانو مواد، خواص،تولید و کاربرد " انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، چاپ دوم،

[۳]مینا دایی،(۱۳۸۹)پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران، چیستی و چرایی نانو در فناوری‌های پزشکی نو و جدید

[۴]مسعود صلواتی نیاسری- (۱۳۸۹)" نانو شیمی و کاربرد آن " انتشارات علم و دانش، چاپ اول،

[۵]مهدی سادات شجاعی ۱۳۸۹" هیدروکسی آپاتیت نانو ذرات معدنی استخوان " انتشارات جهاد دانشگاهی

### ب) منابع غیر فارسی

[۱] ANASTAS ,P.T. AND KIRCHHOFF ,M. M., (۲۰۰۲).ACC. CHEM. RES.,

[۲] AKELAH ,A. AND SHERRINGTON,D. C.(۱۹۸۱).CHEM. REV., ۸۱, ۵۵۷..

[۳] BON,R.S.. LAREN G, (۲۰۰۷).DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NOVEL MULTICOMPONENT REACTION USING A- ACIDIC ISOCYANIDES., VRIJE UNIVERSITY., ۲-۵.

[۴] BERSON , J. A. BROWN,E. J.M.(۱۹۸۶).CHEM. SOC., ۷۷. ۴۴۴-۴۴۷.

[۵] BAGHBANIAN,S.M. KHAKSAR,S. M. VAHDAT, M. FARHANG, TAJBAKHSH, M.(۲۰۱۰).

CHINESE CHEMICAL LETTERS , ۲۱, ۵۶۳–۵۶۷.

[۶] CLAUS, P., BRUCKNER, A., MOHR, C., HOFMEISTER, H., J. AM. CHEM. SOC.(۲۰۰۰). VOL. ۱۲۲, PP. ۱۱۴۳۰–۱۱۴۳۹

[۷] CHURCH, Y.S. LI, J.S., WOODHEAD,A.L. (۲۰۱۲). JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS., ۳۲۴, ۱۵۴۳–۱۵۵۰. TERANISHI, T., MIYAKE, M. CHEM. MATER. ۱۹۹۸, VOL. ۱۰, PP. ۵۹۴–۶۰۰.

[۸] DESIKAN, S. AND DORAISWAMY,L. K. (۲۰۰۰).CHEM. ENG. SCI.,۵۵,۶۱۱۹.

[۹]DONELSON,L.J.GIBBS,R.A.(۲۰۰۶).S.DE.J.MOL.CATAL.,A۲۵۶.

[۱۰] DEBACHE,A. W. GHALEM, R. BOULCINA, A. BELFAITAH, S. RHOUATI,
CARBONI,(۲۰۰۹).TETRAHEDRON LETTERS., ۵۰, ۵۲۴۸-۵۲۵۰.

[۱۱] SAYED,EL- M. A., (۲۰۰۱).ACC. CHEM. RES., VOL. ۳۴, PP. ۲۵۷ – ۲۶۴.

[۱۲] RAFIEE,EZZAT. EAVANI ,SARA. RASHIDZADEH, SOLMAZ. JOSHAGHANI
,MOHAMMAD.(۲۰۰۹). INORGANIC CHIMICAACTA., ۳۶۲. ۳۵۵۵–۳۵۶۲

[۱۳] FYFE,C. A.. Y. ZHANG.AND P. J. AROCA.(۱۹۹۲).AM. CHEM. SOC., ,

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی