دومین ارزیابی
برنامه پیشگامی ملی فناوری نانو
در آمریکا

شورای مشاوران علم و فناوری ریاست‌جمهوری
آوریل ۲۰۰۸

♦ درباره شورای مشاوران علم و فناوری رئیس جمهور

شورای مشاوران علم و فناوری رئیس جمهور (PCAST)[1] طی فرمان ۱۳۲۲۶ رئیس جمهور آمریکا در سپتامبر ۲۰۰۱ تأسیس شد و هدف آن ارائه مشاوره به رئیس جمهور در زمینه سیاستگذاری علم و فناوری است. شورای مشاوران با همکاری شورای ملی علم و فناوری یا NSTC[2]، (شورایی در ردیف هیئت دولت که وظیفه آن هماهنگ نمودن فعالیت‌های تحقیق و توسعه درون سازمانی و سیاستگذاری علم و فناوری مؤسسات و وزارتخانه‌های دولت فدرال است) بخش خصوصی را برای مشارکت در فعالیت‌های خود ترغیب نماید. رئیس جمهور از طریق شورای مشاوران علم و فناوری، از نظرات بخش خصوصی و از جمله جامعه دانشگاهی کشور در زمینه موضوعات مهم مرتبط با فناوری، تحقیقات علمی، آموزش علم، ریاضیات و سایر موضوعاتی که در سطح ملی مورد توجه باشد، مطلع می‌شود.

در واقع از طریق این شورا است که بخش‌های خصوصی و دولتی می‌توانند با یکدیگر به تبادل نظر پرداخته و در نهایت نتایج آن به اطلاع سیاستگذاران علم فناوری برسد. از آنجا که شورای مشاوران علم و فناوری رئیس جمهور یک گروه مشورتی تلقی می‌شود، نظرات آن به منزله سیاست‌های مدیریتی نیست و تنها توصیه‌هایی برای مسئولان علم و فناوری کشور به شمار می‌آید.

این شورا مرکب از ۳۵ عضو از بخش‌های مختلف اعم از مؤسسات آموزشی، تحقیقاتی، صنعتی و سایر سازمان‌های غیر دولتی است (که همگی به وسیله‌ی رئیس جمهور انتخاب می‌شوند) و همان مبنایی که در دوره ریاست جمهوری ترومن و آیزنهاور برای هیئت‌های مشورتی علم و فناوری وجود داشت را دنبال می‌کند و ریاست آن به‌طور مشترک بر عهده مدیر اداره سیاست‌های علمی و فناوری است.

♦ درباره هیئت مشورتی فناوری ملی نانو

کنگره آمریکا در مصوبه خود در زمینه فعالیت‌های تحقیق و توسعه فناوری‌نانو در قرن ۲۱- (قانون عمومی۱۵۳-۱۰۸) که به امضای رئیس جمهور هم رسید، در خواست نموده بود تا یک هیئت مشورتی در سطح ملی به منظور بازبینی برنامه تحقیق و توسعه فناوری‌نانو در کشور تشکیل شود. سرانجام در ۲۳ جولای ۲۰۰۴ رئیس جمهور آمریکا طی فرمانی، هیئت مشورتی علم و فناوری (NNAP)[۳] را به طور رسمی مامور انجام این کار نمود.

♦ درباره این گزارش

در مصوبه کنگره، موارد زیر ازجمله اهداف تشکیل NNAP شمرده شده است:

بررسی فعالیت‌های برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI)، ارزیابی از روندها و پیشرفت‌های فناوری‌نانو در کشور و نیز جهت‌گیری راهبردی این برنامه (تا آنجا که به حفظ جایگاه پیشگامی آمریکا در تحقیقات فناوری‌نانو مربوط می‌شود)، تشریح فعالیت‌های پیش بینی شده در برنامه NNI، بررسی مدیریت، هماهنگ سازی و اجرای آن و میزان نظارت NNI بر پیامدهای اجتماعی، اخلاقی، قانونی، زیست‌محیطی فناوری‌نانو و آثار آن بر نیروی کار و نیز ارائه گزارشی دوسالانه از نتایج این بررسی‌ها به همراه نقطه نظرات اصلاحی خود به رئیس جمهور.

همچنین از مدیر اداره سیاستگذاری علم و فناوری نیز خواسته شده است تا نسخه‌ای از این گزارش را به کنگره ارائه نماید. متنی که پیش رو دارید، دومین گزارش NNAP در این مورد است.

اطلاعات مربوط به کپی رایت (حق تکثیر) :

شکل‌های مورد استفاده در این گزارش با اجازه صاحبان اصلی آنها یا کسانی که امتیاز آن را داشته‌اند مورد استفاده قرار گرفته است.

پیشگامی ملی فناوری نانو

ارزیابی دوم و توصیه‌های
هیئت مشورتی ملی فناوری‌نانو (NNAP)

شورای مشاوران علم و فناوری ریاست‌جمهوری،
آوریل ۲۰۰۸

ادارهٔ اجرایی ریاست‌جمهوری

شورای مشاوران علم و فناوری رئیس‌جمهور

۷ آوریل ۲۰۰۸

رئیس‌جمهور جورج دبلیو بوش

کاخ سفید

واشنگتن دی سی ۲۰۵۰۲

آقای رئیس‌جمهور:

افتخار داریم دومین گزارش از ارزیابی‌ها و توصیه‌های هیئت مشورتی علم و فناوری از وضعیت برنامه ملی پیشگامی فناوری‌نانو که به وسیله‌ی شورای مشاوران علم و فناوری (PCAST) (که پس از ابلاغ دستور رسمی جناب‌عالی در جولای ۲۰۰۴ آغاز به کار کرده است) تهیه شده است را تقدیم نمائیم.

برنامه پیشگامی فناوری ملی نانو (NNI) برنامه‌ای نمونه با زیرساخت‌هایی در سطح بین‌المللی است که در دانشگاه‌ها و آزمایشگاه‌های ملی فعالیت داشته و از مدیریت و هماهنگی قوی درون سازمانی برخوردار است. به طور خلاصه بررسی‌های ما نشان می‌دهد که این برنامه شامل موارد زیر است:

- ایجاد هماهنگی مؤثر بین دستگاه‌های دولتی با بخش صنعت و نیز با سایر کشورها؛
- تسهیل فعالیت‌های معطوف به گسترش انتقال فناوری و نیز ایجاد ارتباط بین محیط‌های نوآوری غیرموازی در آمریکا[۴] و. . .؛
- اولویت دادن به تحقیقات مربوط به ایمنی، بهداشت و آثار زیست‌محیطی با امکان تحلیل و مدیریت مناسب مخاطرات همگام با نوآوری‌های فناوری

به منظور تقویت NNI (برنامه پیشگامی فناوری ملی نانو) و حمایت از تحقق اهداف آن، راهکارهای ذیل ارائه می‌گردد:

- توسعه ارتباطات و تلاش برای گسترش آن به ویژه با توجه به مخاطرات همراه با فناوری‌نانو و منافع واقعی و محسوس آن
- توسعه و تحقق استانداردهای ضروری و لازم برای تعریف، تعیین مشخصات و ارزیابی مخاطرات نانومواد
- هماهنگ نمودن تحقیقات راهبری در زمینه فناوری‌نانو در بخش‌های محیط زیست، بهداشت و ایمنی بین دستگاه‌ها، مؤسسات و کشورهای مختلف و در نظر گرفتن ارزیابی متوازنی از مخاطرات و منافع فناوری‌نانو به ویژه در زمینه کاربردهای آن در دنیای واقعی،،

این گزارش هشتم ژانویه ۲۰۰۸در مجمع عمومی PCAST به بحث گذاشته شد و به اتفاق مورد تصویب قرار گرفت.

ما همچنان به فعالیت خود در زمینه پیش‌بینی فواید گسترده و مهم اجتماعی فناوری‌نانو ادامه می‌دهیم واز جانب شما پیشرفت برنامه‌های دولت فدرال در این زمینه را تا به اینجا زیر نظر داشته و داریم.

جان اچ ماربرگر III

عضو هیئت رئیسه

جان اچ ماربرگرای فلوید کوامی

عضو هیئت رئیسه

اعضای شورای مشاوران علم و فناوری رئیس‌جمهور

◊ رؤسا

جان اچ ماربرگر ای فلوید کوامی:
عضو هیئت رئیسه و مدیر اداره سیاست‌های علم و فناوری

ای فلوید کوامی
عضو هیئت رئیسه و سهام‌دار کلینز پر کینز کافیلد و بایرز

◊ اعضاء

اف دوان آکرمان
رئیس سابق و مدیر اجرایی شرکت بل ساوت(Bel South)

پاول ام آندرسون
رئیس و مدیر اجرایی دوک انرژی (Duke Energy)

چارلز جی آرنتزن
استادیار و رئیس فلورنس الی نلسون (Florence Ely Nelson) مؤسسه طراحی‌های زیستی(Biodesigh) دانشگاه ایالتی آریزونا

نورمن آر آگوستین
رئیس سابق و مدیر اجرایی شرکت لاکهیت مارتین

کارول بارتز
رئیس هیئت مدیره آتودسک

ام کاتلین بهرتر
مدیر امور مدیریتی شرکت روبرتسون استیلنز

اریک بلاخ
مدیر گروه مشاوران واشنگتن

روبرت آ براون
رئیس دانشگاه بوستون

جی واین کلاف
رئیس مؤسسه فناوی جورجیا

مایکل اس دل
رئیس هیئت مدیره شرکت دل

نانسی کی دیسیانی
رئیس و مدیر اجرایی شرکت هانی ول اسپشیالتی متریال (Honeywell Specialty Materials)

رائول جی فرناندز
مدیر اجرایی شرکت Object Video

ماریه آن فاکس
رئیس دانشگاه کالیفرنیا، واحد ساندیاگو

مارتا جیلیلاند
عضو ارشد شورای آموزش

رالف گوموری
رئیس بنیاد آلفرد پی اسلون

برناندین هیلی
روزنامه‌نگار و سردبیر بخش بهداشت U. S News and World Report

روبرت جی هر بولد
قائم مقام سابق اجرایی شرکت مایکروسافت

ریچارد اچ هرمان
رئیس شعبه اربانا شامپاین (Urbana- champaign) دانشگاه ایلینویز

مارتین جی جیچک
رئیس دانشگاه پوردو

فرد اولی

پایه‌گذار و رئیس بنیاد کاولی

بوبی کیلبرگ

رئیس شورای فناوری ویرجینیای شمالی

والتر ای ماسی

رئیس دانشکده مورهاوس

ای کنیس نوابونیز

مدیر اجرایی SageMetrics

استیوان جی پایرماستر

رئیس شرکت Powershift Ventures

لوئیس ام پروثنزا

رئیس دانشگاه آکرون

دانیل ای رید

مدیر راهبرد محاسبات مقیاس‌پذیر و چند بخشی شرکت مایکروسافت

جورج اسکانیر

رئیس اتحادیه صنایع نیمه‌هادی

استراتون دی اسکلاوس

مدیر عامل و رئیس هیئت مدیره Veri Sign

جان بروکس اسلاتر

رئیس و مدیر اجرایی شورای ملی اقلیت های مهندسی

جوزف ام توکسی

رئیس و مدیر اجرایی شرکت EMC

چارلز ام وست

رئیس آکادمی ملی مهندسی

روبرت ای ویت

رئیس دانشگاه آلاباما

تاداتاکا یامادا

رئیس برنامه بهداشت جهانی، بنیاد بیل و ملیندا گیتس

◊ مدیر اجرایی

اسکات جی استیل

◊ رابط کارکنان اداره سیاست‌های علم و فناوری کاخ سفید

تراویس ام ارلز

فهرست مطالب

خلاصه مدیریتی ۱

۱. مقدمه ۶

فناوری‌نانو چیست؟ ٦

برنامه ملی پیشگامی فناوری‌نانو (NNI) ٦

هیئت مشورتی ملی فناوری‌نانو (NNAP) ۷

۲. پیشرفت NNI و وضعیت کنونی آن ۱۲

یافته‌های مبنایی ۱۲

سرمایه‌گذاری رو به رشد ۱۲

اندازه‌گیری پیشرفت ۱۳

مقالات و میزان ارجاعات ۱٦

ایده‌ها و اختراعات ۱۸

مدیریت منابع و ترغیب ذینفعان ۲۰

همکاری‌های صنعتی ۲۰

هماهنگی جهانی ۲۰

به روزرسانی برنامه راهبردی NNI ۲۱

۳- کاربردها: تقویت تجاری‌سازی موجود و ابداعات نوظهور ۲۲

یافته‌های مبنایی ۲۲

زمینه تجاری‌سازی ۲۲

مطالعات موردی ۲۵

کالاهای مصرفی ۲۵

زیست پزشکی ۲۷

انرژی ۳۰

الکترونیک ۳۱

فناوری جایگاهی ۳۲

چالش‌های تجاری سازی ۳۳

۴- اثرات: زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS) و اخلاقی ۳۵

یافته‌های اصلی ۳۵

مباحث زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS) ۳۵

فعالیت‌های دولت مرکزی در محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی فناوری نانو ۳۷

محیط زیست ٤۰

سلامت ٤۱

ایمنی ٤۲

اخلاق ٤۲

مدیریت و هماهنگی تحقیقات مرتبط با آثار جانبی فناوری‌نانو ٤۳

۵- توصیه‌ها: حفظ پیشگامی از طریق هماهنگی، راهبرد، ارتباطات ۴۵
زیرساخت‌ها، مدیریت و هماهنگی ٤٦
توسعه استانداردها ٤٧
تجاری‌سازی و انتقال فناوری ٤٨
آثار جانبی فناوری‌نانو در حوزه‌های محیط‌زیست، سلامت و ایمنی ٤٩
آثار جانبی اجتماعی و اخلاقی ٥٠
ارتباطات و توسعه ٥٠
ضمیمه الف: فهرست علائم اختصاری ٥٢
ضمیمه ب: حوزه‌های تشکیل دهنده برنامه NNI ٥٣
ضمیمه ج : سرمایه‌گذاری NNI در سال ۲۰۰۹ ..... ٥٥
ضمیمه د: خلاصه‌ای از توصیه‌ها و یافته‌ها کلیدی این بررسی ٥٦

خلاصه مدیریتی

در برنامه تحقیق و توسعه فناوری‌نانو در قرن ۲۱ که در سال ۲۰۰۳ به تصویب رسیده است (قانون عمومی ۱۵۳–۱۰۸) هیئت مشورتی علم و فناوری (NNAP) موظف شده است تا به طور دوره‌ای، برنامه تحقیق و توسعه فناوری‌نانو معروف به برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI) را مورد بررسی قرار دهد. به همین منظور شورای مشاوران علم و فناوری به فرمان رئیس‌جمهور به عنوان هیئت مشورتی علم و فناوری (NNAP) تعیین گردید. گزارش موجود حاصل دومین بررسی این هیئت از وضعیت برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو است. گزارش اول آن در سال ۲۰۰۳ منتشر شده است.

مجموع سرمایه‌گذاری NNI از بدو تأسیس آن در سال ۲۰۰۱ با احتساب بودجه ۱/۵ میلیارد دلاری سال مالی ۲۰۰۹ به ۱۰ میلیارد دلار می‌رسد. این در حالی است که کل سرمایه‌گذاری سالانه جهانی، در فناوری‌نانو به طور تقریبی ۱۳/۹ میلیارد دلار است که به طور مساوی بین اروپا، آسیا و آمریکا تقسیم شده است. تحلیل‌های صنعتی انجام شده حاکی از پیشتازی سرمایه‌گذاری بخش خصوصی نسبت به بخش دولتی از حدود سال ۲۰۰۶ است.

آنچه در این گزارش به آن پرداخته شده، عبارتست از:

فعالیت‌ها، توازن و مدیریت NNI در بین ۲۵ دستگاه و مؤسسه آمریکایی فعال در عرصه ی فناوری نانو، تلاش‌های انجام شده برای هماهنگی با سهامداران غیردولتی (از جمله صنعت و سایر دولت‌ها)

در گزارش اول به چهار سوال زیر پاسخ داده شده بود:

۱. چگونه در زمینه‌ی نانو فعالیت می‌کنیم؟
۲. آیا پول‌های اختصاص یافته به خوبی هزینه می‌شود و آیا برنامه‌ی در نظر گرفته شده به خوبی اجرا می‌گردد؟
۳. آیا فعالیت‌های معطوف به رفع نگرانی‌های اجتماعی و مخاطرات کافی بوده است؟
۴. چگونه می‌توانیم بهتر کار کنیم؟

گزارش حاضر در نتیجه‌گیری خود دیدگاه مثبتی داشته است ولی در عین حال توصیه‌هایی هم برای بهبود و تقویت تلاش در زمینه‌های زیر ارائه کرده است که عبارتند از:

انتقال فناوری، انجام تحقیقاتی در زمینه‌ی محیط زیست، سلامت و ایمنی فناوری‌نانو (EHS) و هماهنگی‌های آن، آموزش و نیز فراهم کردن نیروی کار و نیز بررسی ابعاد اجتماعی این فناوری.

از زمان انتشار گزارش اول، به مخاطرات بالقوه فناوری‌نانو به خصوص ضررهای احتمالی نانومواد برای سلامت بشر و محیط زیست توجه زیادی شده است و از همین رو NNAP هم در گزارش حاضر توجه خاصی به تلاش‌های NNI در این زمینه داشته است.

در بررسی برنامه‌های NNI، از منابع مختلفی برای کسب اطلاعات در این‌باره استفاده شد که از آن جمله می‌توان به دعوت از هیئت‌های تخصصی و بهره‌گیری از نظرات گروه مشورتی تخصصی فناوری‌نانو (nTAG) و شورای اخلاق زیستی (Bioethics) ریاست‌جمهوری اشاره نمود. همچنین دستگاه‌های عضو NNI و اداره هماهنگی ملی فناوری‌نانو (NNCO) نیز اطلاعات ارزشمندی برای این گزارش فراهم کرده‌اند.

یافته‌های NNAP حاکی از آن است که ایالات متحده آمریکا با توجه به معیارهای مختلف (از جمله سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه و خروجی‌هایی از قبیل میزان مقالات و اختراعات ثبت شده) همچنان پیشگام فناوری‌نانو خواهد بود. با این حال اروپا به صورت بخشی مقالات بیشتری داشته و خروجی‌های چین در این بخش نیز در حال افزایش است. موارد زیادی از سرمایه‌گذاری‌های NNI هم اکنون به سمت کاربردهای تجاری سوق یافته است؛ اما با این حال (به‌دلیل عدم وجود یک معیارمشخص برای تعلق عنوان نانو بر یک محصول) ملاک معینی برای سنجش انتقال فناوری و تأثیر تجاری این فناوری وجود ندارد.

NNAP ضمن تایید روند جاری سرمایه‌گذاری‌های NNI در زیرساخت‌ها و ابزارآلات، از ادامه آن حمایت می‌نماید؛ چرا که پیشرفته‌ترین تحقیقات نانومقیاس غالباً نیازمند ابزارها و تجهیزات پیشرفته هستند. در این راستا سرمایه‌گذاری NNI در بیش از ۸۱ مرکز در سطح کشور که هر کدام از آنها به وسیله‌ی دستگاه‌های مختلف و به منظور انجام کارهای گوناگون تأسیس شده‌اند و تجهیزات کاربردی لازم را در اختیار دارند بسیار مهم و موفقیت‌آمیز بوده است. به این ترتیب امکان دسترسی گسترده به ابزارآلات گرانقیمت، آخرین تجهیزات پیشرفته و متخصصان خبره برای دیگر کاربران هم فراهم شده و می‌تواند گستره‌ی وسیعی از تحقیقات صنعتی، دولتی و دانشگاهی را پوشش دهد. این سرمایه‌گذاری اخیر، نقش موثری در جلب حمایت بیشتر دانشگاه‌ها، دولت های ایالتی و بخش خصوصی داشته است.

پیشرفت‌های فناوری‌نانو مدیون رشد روزافزون کاربردها و محصولات صنایع گوناگون:

بسیاری از کاربردهای اولیه بیش از آنکه جنبه تحول آفرینی داشته باشد روند تکاملی را طی می‌کنند. با این حال تحقیقاتی که امروزه با سرمایه‌گذاری NNI انجام می‌شود قابلیت آن را دارد که به تغییرات عمده در زمینه‌های متعدد از قبیل انرژی و پزشکی بیانجامد. فناوری‌نانو مانند هر فناوری نوظهور دیگر ممکن است با تبعات ناخواسته یا کاربردهایی چه بسا زیانبار برای سلامت بشر یا محیط زیست و یا حتی پیامدهای اجتماعی دیگر همراه باشد.

به باور NNAP اگرچه در قوانین و قواعد فعلی مربوط به محصولات فناوری‌نانو و نیز مقررات مربوط به تولیدکنندگان و فروشندگان این قبیل محصولات، مسئولیت‌هایی نسبت به ایمنی محیط کار و محصول پیش‌بینی شده است؛ اما همان‌طور که در گزارش سال ۲۰۰۵ هم بیان شده است کارگرانی که به تولید این مواد مشغولند بیش از همه با خطرات احتمالی ناشی از قرار گرفتن در معرض نانومواد روبرو هستند. با این حال مخاطرات ایمنی،

بهداشتی و زیست‌محیطی (EHS) این فناوری هنوز به درستی مشخص نیست و شناخت و مقابله‌ی مناسب آن مستلزم انجام تحقیقات بیشتر است.

NNAP رویکردهای تحقیقاتی NNI را در رابطه با تبعات زیست‌محیطی، سلامتی و ایمنی (EHS) فناوری‌نانو خوب و کامل می‌داند:

انتشار گزارش‌های اخیر کارگروه میان بخشی که در زمینه‌ی بررسی آثارجانبی فناوری‌نانو بر محیط زیست و سلامتی فعالیت دارد از جمله گام‌های خوبی است که توسط NNI به منظور اولویت‌بندی تحقیقات در این زمینه و نیز هماهنگ کردن فعالیت‌های مربوط به آن در سطح دولت فدرال برداشته شده است.

به عقیده NNAP ایجاد سازمان یا اداره‌ی مستقلی که به‌طور خاص به تحقیق در رابطه با تبعات زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS) فناوری‌نانو بپردازد و نیز اختصاص بودجه‌ی مشخص به آن، ضرورت نداشته و به طور ناخواسته موجب کاهش میزان تحقیقات در زمینه‌ی کاربردهای سودمند و مخاطرات فناوری‌نانو می شود. NNAP همچنین جنبه‌های اخلاقی و آثار اجتماعی فناوری‌نانو را هم در بررسی خود مدنظر قرار داده است.

در مشورت با شورای اخلاق زیستی (Bioethics) ریاست‌جمهوری، این هیئت دریافت که نگرانی نسبت به تبعات اخلاقی فناوری‌نانو (مواردی از قبیل آثار جانبی این فناوری بر زندگی خصوصی افراد و نیز دسترسی مساوی به منافع آن) فقط منحصر به این رشته نبوده به طور کلی شامل تمامی پیشرفت‌ها در هر فناوری می شود. البته این نکته به معنای نادیده گرفتن اهمیت پیگیری بحث، تحقیق و گفتگو در زمینه اثرات اجتماعی فناوری‌نانو نیست.

دیدگاه کلی اعضای NNAP آن است که NNI (برنامه پیشگامی فناوری ملی نانو) به‌دلیل سازمان یافتگی و مدیریت خوب می‌تواند همچنان به‌عنوان مدل بسیار موفقی از یک برنامه میان سازمانی مطرح باشد. ساختار زیرکمیته‌ی میان سازمانی علم، فناوری و مهندسی نانومقیاس (NSET) وابسته به شورای ملی علم و فناوری به گونه‌ای است که هماهنگی خوب و مؤثری بین فعالیت‌های دولت فدرال در زمینه فناوری‌نانو ایجاد کرده است.

هدف کارگروه NSET پرداختن به حوزه‌های کاربردی‌ای است که تمرکز بیشتری می‌طلبند. در این راستا NNCOحمایت ویژه‌ای از این برنامه نموده است که این امر کمک شایانی به موفقیت آن می‌نماید.

در برنامه‌ی راهبری به روز شده‌ی سال ۲۰۰۷، اهداف و اولویت‌های برنامه ملی پیشگامی به خوبی مشخص شده و فعالیت‌هایی برای پیشرفت آن در نظر گرفته شده است. همچنین NNAP دریافته است که با تفکیک تحقیقات EHS از سایر ابعاد اجتماعی فناوری‌نانو در برنامه راهبردی، حوزه‌های مختلفی که به منظور اجرای برنامه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها تعریف شده‌اند (PCA)[5] کمک خوبی به پیشرفت NNI می‌کنند.

◊ توصیه‌های NNAP برای تقویت NNI در شش دسته زیر خلاصه می‌شود:

۱- زیرساخت‌ها، مدیریت و هماهنگی:

به عقیده NNAP زیرساخت‌های فراوان مراکز میان‌رشته‌ای و امکانات ویژه کاربران به همراه ابزارآلات،

تجهیزات و نیروهای متخصص و کاردان از موارد ضروری برای ادامه رقابت آمریکا در حوزه فناوری‌نانو بوده و باید تأمین شوند.

در حالی که مؤسسات مشارکت کننده در NNI عموماً از هماهنگی و مدیریت قوی و خوبی برخوردارند اما هماهنگی درون سازمانی آنها (به ویژه در مؤسسات بزرگ دارای بخش‌های متعدد) باید بهبود یابد. سازمان های عضو NNI باید از هماهنگی‌های بین‌المللی ایجاد شده از طریق نشست‌های موثر بین‌المللی از قبیل سازمان همکاری مشترک و توسعه اقتصادی (OECD)[۶] حمایت نمایند. چنین تلاش‌هایی به توسعه‌ی اطلاعات مربوط به سلامتی و ایمنی فناوری‌نانو و رفع موانع و تأثیرات اقتصادی آن کمک خواهد کرد. به‌کارگیری این توصیه و نظارت بر آن به استفاده‌ی بهتر از منابع سازمانی منجر می‌شود.

۲- توسعه استانداردها:

وجود استانداردهایی برای انجام فعالیت‌های فناوری‌نانو در همه‌ی زمینه‌ها از تحقیق و توسعه گرفته تا تجارت و قانون‌گذاری ضروری است و مؤسسات فدرال باید همچنان به مشارکت خود در فعالیت‌های مربوط به توسعه استانداردهای ملی و بین‌المللی ادامه دهند. NNI باید به طور فعال به نمایندگی از دولت آمریکا در نشست های بین‌المللی مربوط به این موضوع شرکت کند تا از دوباره‌کاری در این زمینه جلوگیری شود. همچنین در مواقع ضروری، NIST و دیگر سازمان‌های NNI باید منابع اولیه، روش‌های آزمایش و سایر استانداردها را به منظور حمایت گسترده از تولید صنعتی محصولات ایمن در فناوری‌نانو فراهم نمایند.

۳- تجاری‌سازی و انتقال فناوری:

NNI باید به سرمایه‌گذاری خود در زمینه‌ی تحقیقاتی که در سطح جهانی قرار دارند ادامه دهد تا به این وسیله به توسعه انتقال فناوری کمک کند؛ زیرا ظهور دانشمندان، مهندسان و کارآفرینان برجسته در حوزه‌ی فناوری نانو (که در عین حال از دانش، مهارت و ایده‌های نوآورانه برخوردارهستند) در چنین برنامه‌های تحقیقاتی قوی امکان پذیر می‌شود. همچنین برنامه‌های تحقیقاتی فوق می‌توانند عامل بالقوه‌ای در جذب بیشتر دانشجویان آمریکایی در رشته‌های مرتبط باشد.

ساختار مراکزی که با سرمایه‌گذاری NNI ایجاد می‌شوند باید به گونه‌ای باشد که برای مشارکت بخش صنعتی ایجاد انگیزه نموده و در نتیجه به افزایش انتقال فناوری منجر شود. NNI باید به دنبال راه‌کارهایی برای ارزیابی دقیق‌تر نوآوری‌های مرتبط با فناوری‌نانو و تجاری‌سازی نتایج تحقیقات انجام شده، باشد. همچنین برای حصول نتیجه بهتر لازم است تا این تلاش‌ها با فعالیت‌های OECD در زمینه ارزیابی بین‌المللی تأثیرات اقتصادی فناوری‌نانو هماهنگ باشد.

۴-آثار جانبی فناوری‌نانو بر محیط زیست، سلامتی و ایمنی (EHS) :

به عقیده NNAP، برنامه ملی پیشگامی فناوری‌نانو (NNI) از زمان انتشار گزارش قبلی این گروه، چه به لحاظ

سطح فعالیت‌ها و چه به لحاظ هماهنگی تحقیقات EHS مربوط به نانومواد پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است و لازم است تا این فعالیت‌ها همچنان ادامه یابد. در عین حال به منظور پرهیز از انجام کارهای غیرضروری و دوباره کاری و بروز شکاف لازم است تا تمام این فعالیت‌ها با آنچه در صنعت انجام می‌شود و نیز برنامه‌هایی که با سرمایه‌گذاری دولت صورت می‌گیرد کاملا هماهنگ باشد. به‌علاوه برای بررسی هم‌زمان فواید و مخاطرات فناوری‌نانو، تحقیقات و کاربردها باید به‌همراه هم و نه به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. نکته فوق به‌ویژه در تحقیقات مربوط به توسعه و ارزیابی مخاطرات کنونی این فناوری که به طور موازی با هم انجام می‌شوند اهمیت بیشتری دارد. NNI همچنین باید به سمت ایجاد اطلاعات گسترده غیرانحصاری درباره خواص نانومواد و روش‌های تحلیل فواید/ مخاطرات آن گام بردارد.

۵- آثار جانبی اجتماعی، اخلاقی فناوری‌نانو:

تحقیق در زمینه تأثیرات اجتماعی، اخلاقی فناوری‌نانو باید همراه با تحقیق و توسعه فناوری و در متن پژوهش‌های اجتماعی اخلاقی کلان‌تر صورت گیرد. به نظر NNAP با این روش، دامنه نفوذ این فناوری بیشتر شده و زمینه تبادل دیدگاه‌ها در موضوعاتی که تأثیر زیادی بر جامعه دارند بیشتر می‌شود.

۶- ارتباط و توسعه

NNAP نگران شایعات اغراق‌آمیز مثبت و منفی درباره فناوری‌نانو است که می‌تواند افکار عمومی را تحت تأثیر قرار دهد. لذا NNI باید به عنوان مرجعی مطمئن و قابل اعتماد برای اطلاعات مربوط به فناوری‌نانو بوده و این اطلاعات را در دسترس سرمایه گذاران و عموم مردم قرار دهد.

NNI باید فعالیت‌های ارتباطی و خارجی خود را به وسیله NNCO و کارگروه ارتباطات و مشارکت عمومی فناوری‌نانو گسترش داده و در این مسیر به هماهنگ کردن تلاش‌های معطوف‌به توسعه ارتباط مؤسسات با یکدیگر بپردازد. برای افزایش کارآمدی، اطلاعات باید با ورود داده‌های گسترده و ارتباطات تعاملی با مخاطبان هدف، توسعه یابد.

بررسی اخیر، کامل کننده ارزیابی انجام شده به وسیله شورای ملی تحقیقات (NRC) آکادمی‌های ملی است و NNAP با بسیاری از نظرات این NRCها موافق است؛ با این حال نسبت به توصیه آنها برای ایجاد یک هیئت رسمی مشورتی مستقل برای این کار تردید دارد. هیئت مشورتی علم و فناوری بر این باور است که ترتیب کنونی تهیه جداگانه داده‌ها و ورودی‌های مفید به وسیله هیئت‌های فنی تخصصی NRC و مدیران سطح بالای موسسات پیشگام علم و فناوری که در PCASTعضویت دارندو نیز متخصصان فناوری‌نانو عضو nTAG گستردگی بیشتری نسبت به حالتی خواهد داشت که تنها یک گروه خاص شامل تعداد کمتری مشاور به تهیه اطلاعات بپردازد.

۱. مقدمه

فناوری‌نانو چیست؟

فناوری‌نانو عبارت است از شناخت، کنترل و کاربرد ماده در ابعاد تقریباً یک تا ۱۰۰ نانومتر (یک نانومتر یک میلیاردیم متر است و برای درک بهتر لازم است بدانید که قطر یک تار موی انسان صد هزار نانومتر است) . در چنین مقیاسی مشخصه‌های منحصر به فرد مواد موجب پیدایش کاربردهای نوینی می‌شوند. دراین مقیاس خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد با خواص تک‌تک اتم‌ها، مولکول‌ها و یا خواص توده ماده کاملاً متفاوت است.

فناوری‌نانو در دهه‌های آخر قرن بیستم و همراه با توسعه فناوری‌های جدید تصویربرداری، دستکاری و شبیه‌سازی ماده در مقیاس اتمی پدید آمده است.

قلمرو تحقیق و توسعه فناوری‌نانو طیف‌گسترده‌ای از فعالیت‌های علمی و مهندسی که در راستای شناخت و ایجاد مواد، ابزارها و سیستم‌های بهتر در مقیاس نانو و بهره‌گیری از خواص ماده در چنین مقیاسی صورت می‌گیرد، را شامل می‌شود. نتایج حاصل از این فعالیت‌ها نویدبخش فواید و منافعی است که موجب تحولی اساسی دربخش‌های مختلف از جمله زیست پزشکی (به عنوان مثال تصویربرداری، تشخیص، درمان و پیشگیری)، انرژی (به عنوان مثال تبدیل و ذخیره انرژی)، الکترونیک (به عنوان مثال رایانه‌ها و نمایشگرها)، حفظ، اصلاح و ترمیم محیط‌زیست و کاربردها و محصولات متنوع دیگر خواهد شد.

تحقیق و توسعه فناوری‌نانو با چنین طیف گسترده‌ای از کابردها در آزمایشگاه‌های دانشگاهی دولتی و صنعتی چه در آمریکا و چه سایر نقاط جهان در حال انجام است. این تحقیقات غالباً در فصل مشترک رشته‌های مرسوم از قبیل علوم شیمی، زیست‌شناسی و مواد و رایانه قرار دارد وبه تعبیر دیگر یک فناوری میان رشته ای است. با پیشرفت تحقیقات نوین، کاربردهای تجاری اولیه‌ای نوعاً در حد بهبود کالاها و فرآیندهای موجود از قبیل روکش‌دهی و مواد کامپوزیتی به بازار راه یافته‌اند.

برنامه ملی پیشگامی فناوری‌نانو (NNI)

برنامه پشگامی فناوری‌نانو در سال مالی ۲۰۰۱ به منظور هماهنگ ساختن فعالیت‌های گوناگونی که در سطح کشور در این زمینه انجام می‌شود تأسیس شد و در ابتدا هدف آن هدایت متخصصان و سرمایه‌های مؤسسات دولتی و ترغیب آنها به انجام فعالیت‌های رقابتی و غیررقابتی در فناوری‌نانو بود.

این پیشگامی بعدها ادامه یافت و به صورت یک اولویت تحقیق و توسعه برای مسئولان قرار گرفت. در حال حاضر ۲۵ سازمان فدرال در این برنامه عضویت دارند که از بین آنها ۱۳ سازمان، بودجه‌های مشخصی را به تحقیق و توسعه فناوری‌نانو اختصاص داده‌اند. در مجموع بودجه تحقیق و توسعه فناوری‌نانو در سال مالی ۲۰۰۹ به میزان مورد تقاضای ۱/۵ میلیارد دلار خواهد رسید و به این ترتیب کل سرمایه‌گذاری دولت در تحقیق و توسعه این

فناوری از ابتدای تأسیس NNI در سال ۲۰۰۱ به مقدار تقریباً ۱۰ میلیارد دلار بالغ می‌شود.

هماهنگی‌های عملی میان سازمانی NNI از طریق زیر کمیته شورای علوم، مهندسی و فناوری نانومقیاس (NSTC) انجام می‌شود. این گروه‌ها متشکل از نمایندگانی از تمامی سازمان‌های فدرال عضو NNI هستند. زیرکمیته NSET برای مشخص کردن جنبه‌های مختلف برنامه‌ای NNI، چهار کارگروه ایجاد نموده است:

- کارگروه موضوعات جهانی فناوری‌نانو (GIN)[۷] که از فعالیت دولت در نشست‌های بین‌المللی مرتبط با فناوری‌نانو حمایت می‌کند.
- کارگروه مربوط به پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی فناوری‌نانو (NEHI)[۸] که به تحقیقات دولت فدرال در زمینه‌های مرتبط با محیط زیست، سلامتی و ایمنی (EHS) اختصاص دارد و وظیفه آن توسعه راهبردهای پژوهشی هماهنگ در این زمینه و تسهیل فعالیت‌های میان سازمانی مرتبط است.
- کارگروه تولید، صنعت و نوآوری (NILI)[۹]، وظیفه این کارگروه ایجاد هماهنگی بین همکاری‌های صنعتی و حمایت از تجاری‌سازی تولید و انتقال فناوری است.
- کارگروه ارتباطات و ترویج عمومی فناوری‌نانو (NPEC)[۱۰]: وظیفه این کارگروه هماهنگ ساختن تلاش‌های انجام شده در زمینه ارتباط و توسعه در سطح سازمان‌ها و یا در سطح بین‌المللی است. این تلاش‌ها موارد مربوط به موضوعات اخلاقی و اجتماعی مرتبط با فناوری‌نانو را نیز شامل می‌شود.

اداره ملی هماهنگی فناوری‌نانو (NNCO) حمایت فنی و سازمان یافته‌ای از زیرکمیته NSET، چهار کارگروه فوق و سازمان‌های وابسته به NNI (در زمینه فعالیت‌هایی که با NNI مرتبط است و یا در راستای هماهنگی و ارتباط با عامه در حوزه فناوری‌نانو است) به عمل می‌آورد.

در قانون نظارت‌های مستمر گسترده‌ای برای NNI پیش بینی شده است. به همین منظور شورای مشاوران علم و فناوری (PCAST) ریاست‌جمهوری در مقام هیئت مشورتی ملی فناوری‌نانو (که در زیر توضیح داده می‌شود) هر دو سال یکبار فعالیت‌های NNI را بررسی و گزارشی مانند گزارش حاضر تهیه می‌نماید. همچنین آکادمی‌های ملی نیز هر سه سال یکبار ارزیابی‌هایی خارج از این برنامه نسبت به جنبه‌های خاصی از NNI انجام می‌دهند. علاوه بر این بررسی‌ها که از وضعیت NNI انجام می‌شود، اداره حسابرسی[۱۱] دولت نیز هم‌اکنون در حال برآورد میزان هماهنگی NNI و تهیه گزارشی از تحقیقات EHS مرتبط با فناوری‌نانو است.

◊ هیئت مشورتی ملی فناوری‌نانو (NNAP)

در برنامه تحقیق و توسعه قرن ۲۱ فناوری‌نانو (مواد ۱۵۳-۱۰۸ قانون عمومی مصوب جلسه ۱۰۸ سال ۲۰۰۳ کنگره) از رئیس‌جمهور خواسته شده است تا هیئتی مشورتی ملی در زمینه فناوری‌نانو تشکیل دهد. رئیس‌جمهور نیز در سال ۲۰۰۴ طی فرمانی رسمی، شورای مشاوران علم و فناوری خود (PCAST) را مامور انجام این کار نمود.

ارزیابی موارد زیر از وظایف NNAP است:

- روندها و توسعه‌های پدید آمده در علم و مهندسی نانو
- میزان تحقق و پیشرفت برنامه‌ها
- هر نوع نیاز به بازنگری‌های برنامه‌ریزی شده
- ایجاد توازن بین بخش‌های مختلف NNI و از جمله سطح سرمایه‌گذاری در قسمت‌های مختلف تشکیل دهنده برنامه
- چگونگی کمک NNI به حفظ موقعیت پیشگامی آمریکا در فناوری‌نانو
- مدیریت، هماهنگی و محقق ساختن اهداف و انجام فعالیت‌های برنامه
- چگونگی تلاش NNI در رفع نگرانی‌هایی که نسبت به عوارض اجتماعی اخلاقی، قانونی و زیست‌محیطی فناوری‌نانو وتأثیر آن بر نیروی کار آن وجود دارد.

در می۲۰۰۵، PCAST اولین گزارش خود از بررسی دوسالانه NNI را مطابق با مسئولیتی که به عنوان هیئت مشورتی ملی فناوری‌نانو بر عهده داشت منتشر نمود (PCAST 2005) در آن گزارش به چهار سوال پاسخ داده شده بود:

- جایگاه فعلی ما کجاست؟
- آیا این پول به خوبی هزینه می‌شود و برنامه‌ها به خوبی مدیریت می‌شود؟
- آیا توانسته‌ایم در رفع نگرانی‌های اجتماعی و مخاطرات احتمالی تلاش نمائیم؟
- چگونه می‌توانیم بهتر کار کنیم؟

رئوس یافته‌های این هیئت در آن زمان به شرح زیر بود:

- آمریکا پیشگامی تحسین برانگیزی در تحقیق و توسعه فناوی نانو دارد. سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی دولت فدرال به تنهایی حدود یک چهارم مجموع سرمایه‌گذاری‌های کنونی دولتی در سایر کشورها است. در این زمینه از بخش خصوصی و دولت‌های ایالتی و محلی نیز کمک گرفته شده است. بیشتر شرکت‌های نوپای فناوری‌نانو، در آمریکا قرار دارند و تاکنون بیشترین آمار ثبت اختراع و انتشار کتاب و مقاله در زمینه فناوری‌نانو به آمریکا اختصاص داشته است. با این حال افزایش سرمایه‌گذاری‌های دولتی و خصوصی در گوشه و کنار جهان در حال رقابت با موقعیت پیشگامی آمریکا است.
- سرمایه‌گذاری دولت فدرال در فناوری‌نانو قوی بوده و به خوبی هزینه می‌شود. در برنامه راهبردی NNI راهنمایی‌های مناسبی برای توسعه برنامه در نظر گرفته شده است و در همین راستا زیرکمیته میان سازمانی NSET با حمایت NNCO توانسته است هماهنگی موثر و زیادی در تحقق و مدیریت این برنامه و تسهیل تعامل آن با صنعت و افکار عمومی داشته باشد و ادامه این روند به منظور دستیابی به فواید بلند مدت همچنان ضروری است.
- NNI در راستای تعریف، اولویت‌بندی و به ویژه رفع تبعات زیست‌محیطی و بهداشتی و نیز دیگر مسائل

اجتماعی و اخلاقی آن تلاش می‌کند.

NNAP بر اساس گزارش اول خود، به این نتیجه رسیده است که برخی حوزه‌های خاص نیازمند توجه بیشتر هستند و به همین دلیل توصیه‌هایی در این زمینه ارائه نموده است.

- **انتقال فناوری**: NNI باید ارتباط بیشتری با صنایع آمریکا برقرار کرده و هماهنگی دولت فدرال و ایالت‌ها را در این زمینه افزایش دهد. همچنین در این برنامه باید به بهبود مدیریت دانش و در دسترس قرارگرفتن امکانات NNI (به عنوان مثال ابزارآلات و مکان‌های مجهز برای کاربران) توجه شود.
- **پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی فناوری‌نانو**: NNI باید همچنان به تلاش خود برای درک آثار مخرب احتمالی فناوری‌نانو به ویژه در مواردی که احتمال قرار گرفتن در معرض این نانومواد بیشتر است (نظیر کارگاه‌های تولید نانومواد یا محیط‌هایی که در آن از این مواد استفاده می‌شود) ادامه دهد. بر این مبنا هر کجا که شواهدی مبنی بر وجود آثار زیانبار این مواد بر محیط زیست یا سلامت بشر به دست آید، مقامات مسئول باید مکانیسم‌های قانونی مناسبی را در جهت جلوگیری از این آسیب‌ها به‌کار گیرند که این امر علاوه بر همکاری قوی میان سازمانی نیازمند هماهنگی‌های بین‌المللی نیز هست.
- **آثار اجتماعی جانبی فناوری‌نانو**: NNI باید از تحقیقاتی که با هدف شناخت آثار جانبی اجتماعی فناوری‌نانو (شامل تأثیرات اخلاقی، اقتصادی و قانونی) انجام می‌شود حمایت کرده و تلاش چشمگیری در جهت آگاه نمودن مردم درباره این فناوری انجام دهد.
- **آموزش و فراهم کردن نیروی کار**: به منظور بهبود بازدهی فنی کشور در زمینه‌های مرتبط با فناوری‌نانو، لازم است تا NNI با همکاری وزارت آموزش (DOEd) و وزارت کار (DOL) سیستم‌های مناسبی را جهت آموزش و تربیت نیروی کار ایجاد نماید.

گزارش شورای ملی تحقیقات (NRC) از آکادمی‌های ملی، مکمل بررسی انجام شده به‌وسیله‌ی NNAP است. در دسامبر ۲۰۰۶، NRC اولین گزارش سه سالانه خود از وضعیت NNI را منتشر نمود که تا حد زیادی موازی با بررسی اولیه NNAP بود؛ اما در آن برخی مطالعات موردی در مورد امکان تولید مولکولی و توسعه مسئولانه[۱۲] فناوری‌نانو آمده است. (NRC ۲۰۰۶) در ضمیمه (د) به خلاصه‌ای از یافته‌های کلیدی این گزارش اشاره شده‌است.

نقطه نظرات NNAP در مورد توصیه‌های NRC به قرار زیر است:

- اعضای NNAP بر این باورند که دولت فدرال نقش منحصر به فردی در حمایت از تحقیق و توسعه فناوری‌نانو دارد. این کار که به منظور حمایت از تحقیقات پایه و کاربردی انجام می‌شود موجب توازن اهداف بلند مدت و کوتاه مدت شده و به ایجاد زیرساخت‌های حمایتی قوی منجر می‌شود.
- به نظر NNAP هنوز نمی‌توان قاطعانه درباره میزان احتمالی مخاطرات احتمالی نانومواد مهندسی شده اظهار نظر کرد. اگر چه به این منظور ابزارهای مناسبی در دست تهیه است، اما هنوز جایگاه مناسب خود را نیافته

است. بنابراین انجام تحقیقات گسترده در زمینه آثار جانبی فناوری‌نانو بر محیط زیست و سلامتی و بررسی ایمنی آنها (EHS) و استاندارد نمودن فناوری‌نانو و تهیه قوانین گسترده در این زمینه همچنان ضروری است.

- اعضای NNAP نسبت به لزوم تشکیل هیئت مشورتی رسمی و مستقل برای فناوری‌نانو متشکل از متخصصانی که تجربه کار در خصوص علم و مهندسی نانو مقیاس، مدیریت مراکز تحقیقاتی، ابزارها و امکانات و همکاری‌های میان رشته‌ای و مشارکت در طرح‌های مختلف را داشته باشند ابراز تردید نموده‌اند؛ بخصوص آنکه دو مورد اخیر (همکاری میان رشته‌ای و مشارکت) تنها خاص فناوری‌نانو نیستند. به علاوه هم اکنون گروه متخصصان NRC، متخصصان و مدیران سطح بالای علم و فناوری PCAST و متخصصان فناوری‌نانو در گروه مشورتی فنی (nTAG) هر کدام جداگانه اطلاعاتی را برای NNI فراهم می آورند و به‌طبع در چنین وضعیتی نسبت به حالتی که تنها یک گروه خاص (آن هم با تعداد مشاوران کمتر) به این کار اقدام نماید، دورنمای وسیع‌تری به دست می‌آید. مطابق با نقطه نظرات راهبردی کمیته مشورتی فدرال (FACA)، تعداد این هیئت‌های مشورتی کاملاً مدیریت شده است و تنها در صورت ضرورت و مطابق با اولویت‌های دولت فدرال تشکیل خواهند شد. علاوه بر این NRC و NNAP و با در اختیار داشتن طیف گسترده‌ای از مشاوران فنی با تخصص‌های ویژه مرتبط با فناوری‌نانو، همچنان به طور منظم نقطه نظرات و پیشنهادات خود را ارائه خواهند داد.
- ارزیابی و پیش‌بینی آثار جانبی اقتصادی سرمایه‌گذاری در حوزه فناوری‌نانو در واقع کاری چالش برانگیز است. در این زمینه NNAP از مطالعات امکان‌سنجی به‌منظور تدوین معیارهایی برای کمی نمودن بهتر میزان بازدهی اقتصادی سرمایه‌گذاری‌های دولت در فناوری‌نانو استقبال می‌نماید.
- NNAP از قرار گرفتن حوزه تمرکز NNI بر آموزش و تربیت نیروی کار متخصص و همکاری با وزارتخانه‌های آموزش و کار به منظور افزایش هماهنگی دستگاه‌های فعال در زمینه فناوری‌نانو حمایت می‌کند.

گزارش حاضر نتیجه دومین بررسی دو سالانه از وضعیت برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI) است که توسط شورای مشاوران علم و فناوری ریاست‌جمهوری تهیه شده است. این گروه در بررسی خود از تعداد زیادی از متخصصان با زمینه‌های تخصصی گوناگونی از قبیل افراد دارای تجربه قابل توجه در مدیریت کلان طرح های تحقیق و توسعه میان رشته‌ای و تجاری‌سازی آن استفاده نموده است.

NNAP همچنین از ارزیابی‌ها و توصیه‌های نمایندگان جامعه صنعتی و دانشگاهی (در رشته‌های علوم پایه و علوم انسانی) عضو nTAG و زیرکمیته NSET و نمایندگان سایر دستگاه‌ها و مؤسسات بهره زیادی برده است. تمام این افراد مسائلی را در رابطه با گستردگی تحقیقات فناوری‌نانو، توسعه آن، آموزش، انتقال فناوری، تجاری‌سازی و نگرانی‌هایی که در رابطه با آثار جانبی زیست‌محیطی، بهداشتی، ایمنی و اخلاقی اجتماعی آن وجود

دارد و به NNI مربوط می‌شود را مطرح کرده‌اند. NNAP در جلسه مجمع عمومی خود در ۲۵ ژوئن ۲۰۰۷ تمام این موضوعات را به بحث گذاشت.

(برای آگاهی از مشروح مطالب ارائه شده در آن جلسه رجوع کنید به:

(http://www.ostp.gov/pdf/agenda607.pdf)

در واقع می‌توان گفت تخصص‌های گسترده و عمیق این منابع به همراه بازخورد و دورنمایی که در محدوده‌ای از موضوعات فنی و اجتماعی مرتبط با فناوری‌نانو فراهم می‌آورند، مکمل نظریات دقیق و کارشناسانه اعضای NNAP خواهد بود.

این گزارش در حقیقت به روز شده‌ی ارزیابی‌ها و توصیه‌هایی است که در گزارش ماه می سال ۲۰۰۵ آمده است. در آن گزارش توجه ویژه‌ای به پیشرفت نسبی وضعیت تحقیق و توسعه فناوری‌نانو، کاربردها و نیز ارتقا تقویت تجاری‌سازی آن و آثار جانبی این فناوری بر محیط زیست، بهداشت و ایمنی (HSE) شده است. همچنین موضوعات اخلاقی مربوط به فناوری‌نانو و تلقی افکار عمومی نسبت به آن و نیز اهمیت ایجاد ارتباط گسترده و ترویج عمومی این فناوری از مواردی بود که آنجا مورد بحث قرار گرفته بود.

♦ ۲- پیشرفت NNI و وضعیت کنونی آن: تغییرات پیشگامانه از سال ۲۰۰۵

◊ یافته‌های مبنایی

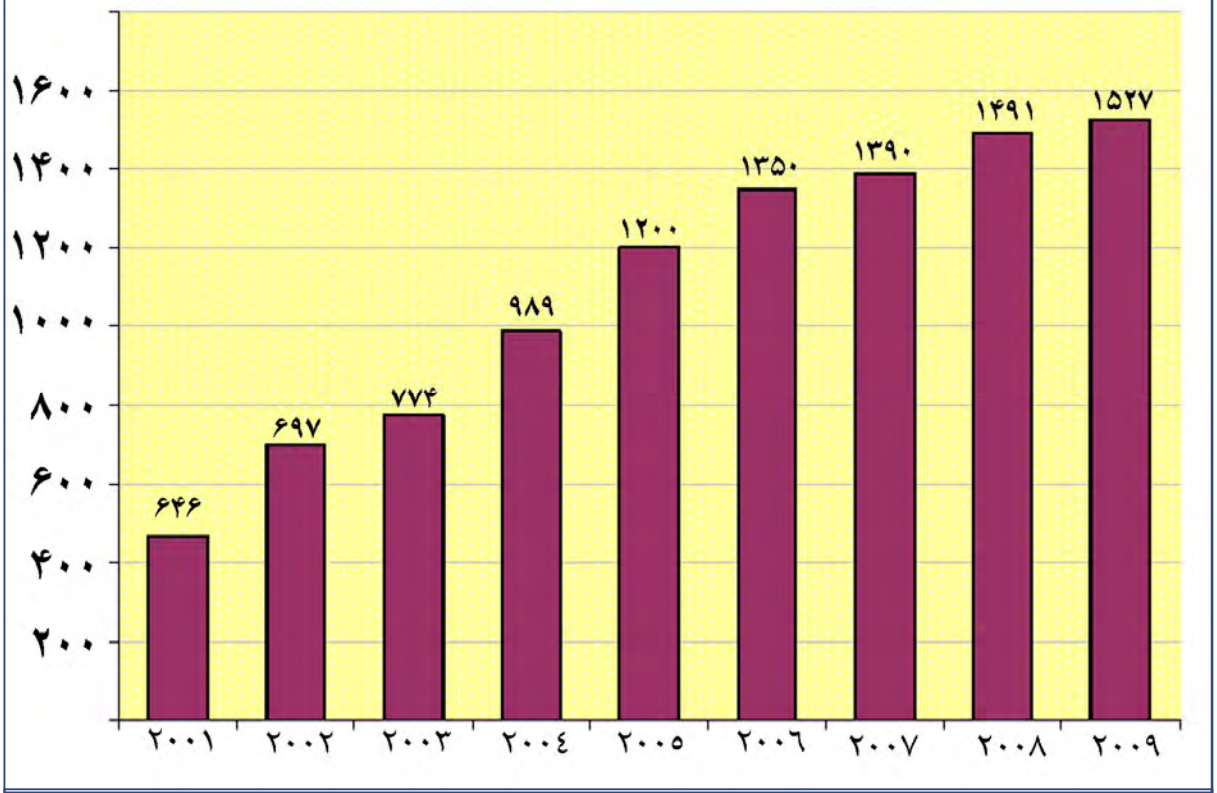
روند افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی فناوری‌نانو در آمریکا و گوشه و کنار جهان ادامه دارد.

- تحقیقات علمی فناوری‌نانو قابلیت زیادی در ایجاد تغییرات تحول آفرین و تکاملی برای افزایش ورود محصولات مبتنی بر فناوری‌نانو به بازار دارند.
- ادامه رشد و تقویت زیرساخت‌های تحقیق و توسعه NNI در سطح جهانی، موجب گسترش مشارکت در تحقیقات پیشرفته و تعاملات میان رشته‌ای شده و ایجاد نوآوری در فناوری و جهت‌گیری آن به سمت کاربردهای عملی را سرعت می‌بخشد.
- پیشرفت در بسیاری از حوزه فرصت‌های فناوری نانو همانگونه که در گزارش nTAG (گروه تخصصی مشورتی فناوری‌نانو) نیز بیان شده است کاملاً مشهود بوده و این مسئله را می‌توان نتیجه بکاربستن توصیه‌های مطرح شده در گزارش سال ۲۰۰۵ NNAP دانست.
- سرمایه‌گذاری NNI افزایش قابل توجهی داشته است. پیشگامی NNI موجب رشد سریع سرمایه‌گذاری در بخش خصوصی و نیز در سطح جهان شده است. توصیه NNAP آن است که مؤسسات عضو NNI برای حفظ پیشگامی خود باید در همایش‌های بین‌المللی از قبیل سازمان توسعه همکاری‌های مشترک اقتصادی (OECD) و سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) حضوری فعال داشته باشند.

◊ سرمایه‌گذاری رو به رشد

سرمایه‌گذاری آمریکا در طرح‌های تحقیق و توسعه فناوری‌نانو همچنان روبه رشد است. میزان کل این سرمایه‌گذاری توسط دولت فدرال از ۹۸۲ میلیون دلار در سال مالی ۲۰۰۵ به ۱/۵۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۹ خواهد رسید که به این ترتیب رشدی بیش از پنجاه درصد (۵۰٪) داشته است و نسبت به سرمایه‌گذاری اولیه NNI در سال ۲۰۰۱ (نگاه کنید به شکل ۲-۱) بودجه سال مالی ۲۰۰۹ NSTC/NSET سه برابر شده است[۱۳]. بودجه های فوق در حوزه‌های تعریف شده در برنامه NNI (برای اطلاع از فهرست این حوزه‌ها به ضمیمه ب مراجعه کنید) و در ۱۳ سازمانی که بودجه‌های تحقیق و توسعه تعریف شده و مشخصی دارند توزیع می‌شود که حاکی از اهمیت پیشرفت همزمان در تمام این حوزه‌ها برای NNI است. (نگاه کنید به شکل ۲-۲ و ضمیمه ج که نمودی از نیاز هر بخش در سال مالی ۲۰۰۹ است)

همچنین سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در سطح بین‌المللی (چه به صورت شرکتی و چه به صورت خطرپذیر)



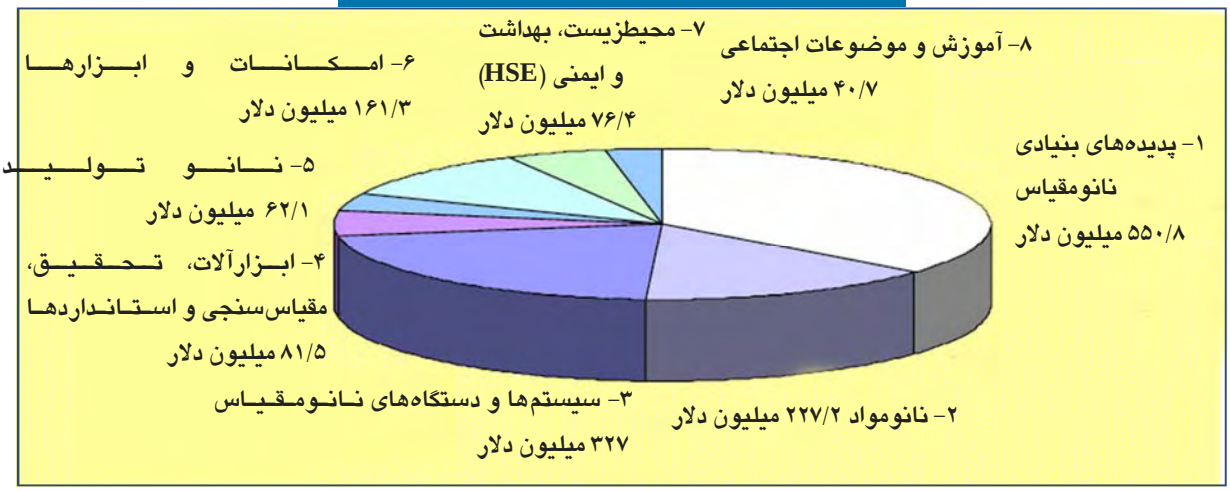
شکل ۲-۱ سرمایه‌گذاری تجمعی NNI (بر حسب میلیون دلار) از ابتدای تأسیس تاکنون (نمودار ۲۰۰۸ تقریبی و نمودار ۲۰۰۹ مقدار مورد درخواست است)

از مقدار تقریبی ۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۵ به بیش از ۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۷ رسیده است. میزان کل حمایت مالی بخش خصوصی و دولتی در سطح جهان از تحقیق و توسعه فناوری‌نانو نیز افزایش یافته و طبق گزارش سال ۲۰۰۷ Lux Research به مقدار تقریبی ۱۳/۹ میلیارد دلار می‌رسد. این میزان تقریباً به طور مساوی به آمریکا، اروپا و آسیا اختصاص دارد.

افزایش فوق حاکی از آن است که منافع بالقوه گسترده این فناوری (اعم از کوتاه مدت و بلند مدت) در سطح جهان شناخته شده است؛ به طوری که به اذغان اعضای NNAP و Ntag نخستین بار در صنعت فناورین نانو است که میزان سرمایه‌گذاری اروپا و آسیا تا این حد به سرمایه‌گذاری آمریکا نزدیک شده است.

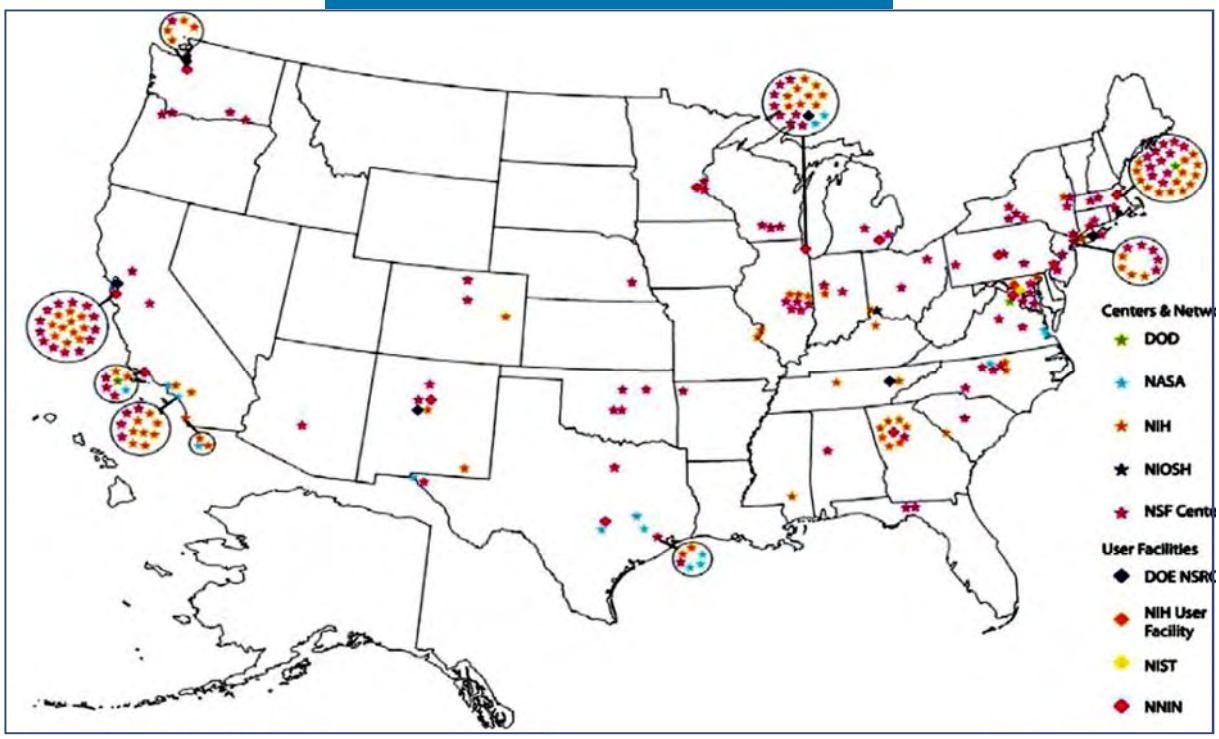
به این ترتیب لازم است تا نگاه دقیق‌تری به وضعیت رقابتی برنامه‌های آمریکا داشته باشیم. تغییرات تدریجی حاصل از فناوری‌نانو را هم اکنون می‌توان در بازار مصرف و در انواع مختلفی از مواد و کالاهای مصرفی از جمله پارچه‌ها، صنعت بسته‌بندی، وسایل خانگی، کالاهای ورزشی، داروهایی با فرمول‌های جدید و قطعات خودرو مشاهده نمود. همچنین ادامه روند پیشرفت‌های بی‌وقفه در تحقیق و توسعه فناوری‌نانو، نوید بخش تغییراتی تحول آفرین در ذخیره و مصرف انرژی، الکترونیک مولکولی، حسگرهای زیست‌محیطی، درمان و داروهای فردی است.

زیرساخت‌های تحقیقاتی که تاکنون به وسیله NNI ایجاد شده‌اند همچنان به عنوان چارچوب ضروری نوآوری



شکل ۲-۲ سرمایه‌گذاری NNI (بر حسب میلیون دلار) به تفکیک حوزه‌های مختلف برنامه که برای سال مالی ۲۰۰۹ برنامه‌ریزی شده است.

و تحقیقات بنیادی فناوری‌نانو آمریکا باقی خواهند ماند و نماد بارز پیشگامی آمریکا در این رشته است. زیرساخت‌ها بعد از سال ۲۰۰۵ گسترش بیشتری یافته است؛ به‌عنوان مثال مؤسسه ملی بهداشت (NIH)[۱۴]، ۲۱ مرکز تحقیقاتی جدید راه اندازی نموده است که حوزه تمرکز تمامی آنها کاربرد فناوری‌نانو در درمان سرطان و توسعه نانوداروها است و آزمایشگاه تعیین مشخصات فناوری‌نانو مؤسسه ملی سرطان یکی از آنها است. پنج مرکز تحقیقاتی نانوعلم (NSRC) در آزمایشگاه‌های ملی وزارت انرژی (DOE) تأسیس شده و در اختیار محققان قرار گرفته است که امکانات تحقیقاتی قابل توجهی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد؛ مؤسسه ملی استاندارد و فناوری (NIST) مرکزی برای علم و فناوری‌نانو به همراه آزمایشگاه مجهز اندازه‌گیری‌های پیشرفته تأسیس کرده است و بنیاد ملی علوم (NSF) نیز دو مرکز تحقیقاتی در حوزه فناوری‌نانو و تبعات اجتماعی آن و نیز شبکه آموزش غیر رسمی علم نانومقیاس و شبکه ملی نانوتولید را راه اندازی کرده است. (نگاه کنید به شکل ۲-۳) در مجموع NNI با حمایت از بیش از ۸۱ مرکز و شبکه، و تأمین تجهیزات مورد نیاز کاربران به‌منظور تداوم تحقیق و توسعه و آموزش فناوری‌نانو (طبق NSTC/NSET ۲۰۰۷)، پیشگامی جهانی را در این عرصه از آن خود کرده است. NNI با چنین ظرفیت تحقیقاتی گسترده، می‌تواند از مجامع علمی زیادی حمایت کرده و زمینه را برای انجام گسترده تحقیق و توسعه‌ی میان رشته‌ای فراهم آورد که برای حفظ موقعیت رقابتی آمریکا چه در زمینه علوم بنیادی و چه در زمینه کاربردهای نوظهور فناوری‌نانو ضروری است. وجود چنین تسهیلاتی[۱۴] برای کاربران، سبقت صنایع آمریکا را در رقابت برای کسب عنوان پیشگامی در تجاری‌سازی فناوری‌نانو تسهیل می‌کند.



شکل ۳-۳ مراکز، شبکه‌ها و تسهیلات پیشگامی ملی فناوری نانو (NNI)

◆ اندازه‌گیری پیشرفت

تعریف معیارهای معنادار و استخراج داده‌هایی مبتنی برپیشرفت‌های حاصل از طیف گسترده نتایج تحقیق و توسعه و نیز تجاری‌سازی که به طور خاص به فناوری‌نانو مربوط باشند همچنان از موضوعات چالش برانگیز است. البته این مشکل کم و بیش در سایر فناوری‌های نوین هم وجود دارد و خاص فناوری‌نانو نیست.

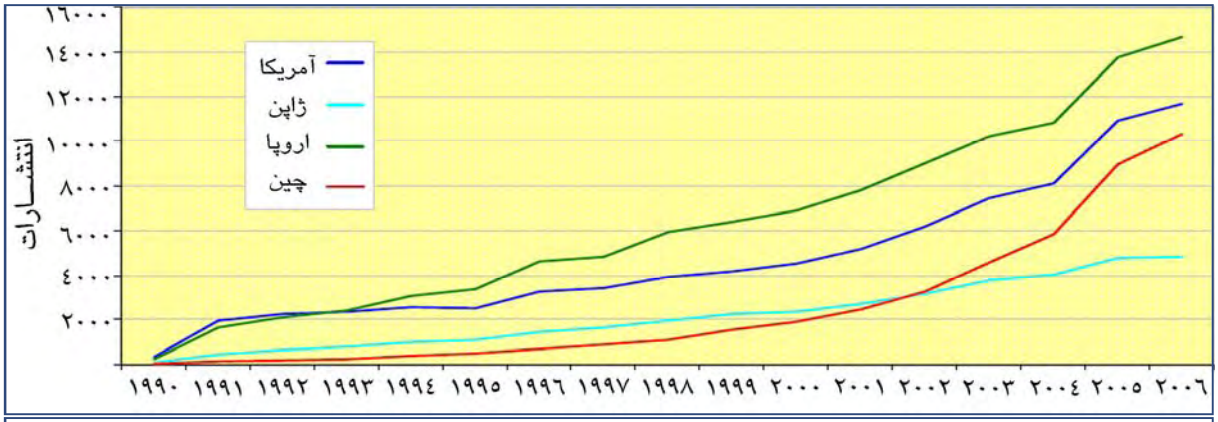
هم‌اکنون متخصصان دانشگاهی به دنبال یافتن بهترین راه اندازه‌گیری و سنجش پیشرفت‌های علمی هستند. اما در حوزهٔ فناوری‌نانو این تلاش‌ها با عوامل پیچیده‌ی متعددی روبروست. اینکه تحقیقات فناوری‌نانو تقریباً به عنوان بخشی از آخرین تحقیقات رشته‌های علمی بسیاری از قبیل فیزیک، شیمی، مهندسی مواد ، پزشکی و زیست‌شناسی است، موجب می‌شود تا به سختی بتوان نتایج تحقیقاتی به دست آمده را از این رشته‌ها تفکیک کرده و مستقیماً به فناوری‌نانو نسبت داد. ارزیابی آثار تجاری فناروی نانو نیز به همین دشواری است. در واقع صنعت مستقلی به نام صنعت فناوری‌نانو وجود ندارد و در عوض این فناوری تقریباً در تمامی بخش‌های صنعت توسعه یافته و کاربردی شده است. لذا تعیین تعداد محصولات فناوری‌نانو و یا تعداد کسانی که در این بخش مشغول کار هستند امر نامعقولی می‌نماید. ناهمگونی مرز میان محصولات و رشته‌ها، مقایسه سرمایه‌گذاری، تجاری‌سازی و تولید آنها با یکدیگر را با مشکل روبرو کرده و اهمیت استاندارد نمودن اصطلاحات مربوط به این فناوری (نه فقط به منظور ارزیابی بلکه به منظور تسهیل به اشتراک گذاری دانش‌های هر رشته) را دوچندان می‌نماید. به هر حال وجود

معیارهای سنجش مناسب برای ارزیابی پیشرفت داخلی و نیز وضعیت رقابتی آمریکا در زمینه حمایت از تحقیقات و خروجی آن، توسعه زیرساخت‌ها و پیشرفت نوآوری‌ها و در نهایت ارزیابی منافع اقتصادی و اجتماعی فناوری‌نانو ضروری است. معیارهای کنونی مورد استفاده در این رابطه عبارتند از: معیار کتاب‌شناختی از قبیل میزان مقالات و نشریات، تعداد اختراعات ثبت شده، تعداد ارجاعات، نگاشت دانش[۱۵]، تعداد مراکز تحقیقاتی، شبکه‌ها و اماکن مجهز، محققان، شرکت‌های نوپا و تعداد کارآموزان جدید، قیمت پایه سهام[۱۶]، میزان تملک ها و میزان سرمایه‌های حمایتی بخش‌های دولتی و خصوصی. (چه به صورت شرکتی و چه به صورت خطرپذیر)

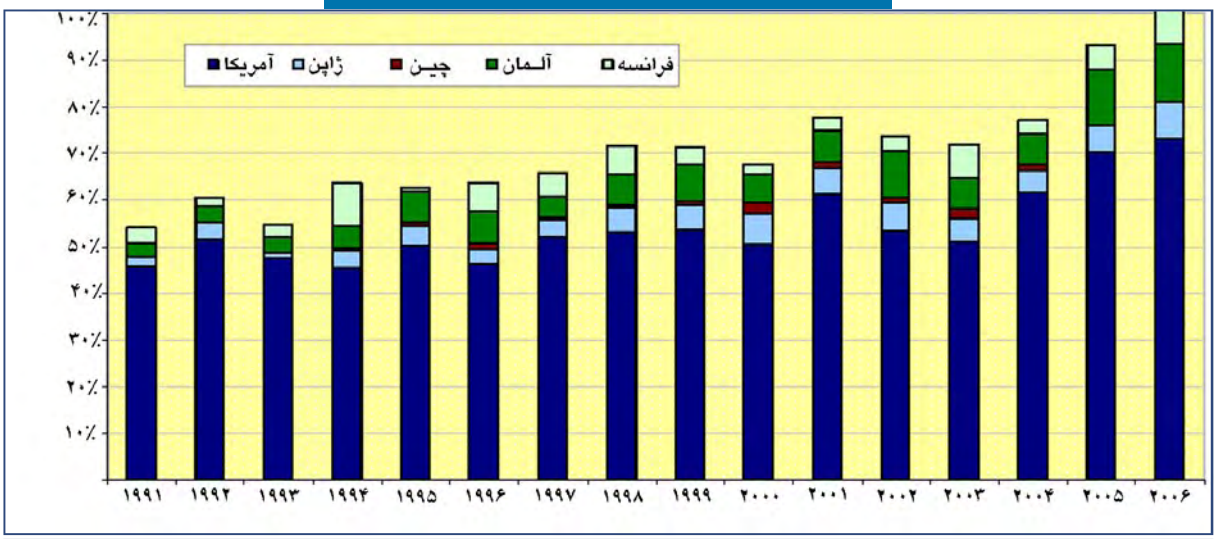
در گزارش حاضر، گروه NNAP تمام تلاش‌های انجام شده برای جمع‌آوری و تحلیل این قبیل داده‌ها که به خروجی تحقیقات و تجاری‌سازی‌های در دست اقدام در آمریکا و سایر نقاط جهان مربوط می‌شود را در نظر گرفته است. اگر چه داده‌های در دسترس و معیارهای قابل اعتماد در این زمینه محدود هستند، اما به نظر این گروه، داده‌های کتاب‌شناختی (تعداد مقالات و ارجاعات) و نیز تعداد اختراعات ثبت شده، مطمئن‌ترین معیارهایی هستند که می‌توان از آنها در ارزیابی پیشرفت NNI و موقعیت آمریکا نسبت به سایر نقاط جهان استفاده نمود.

◊ مقالات و میزان ارجاعات

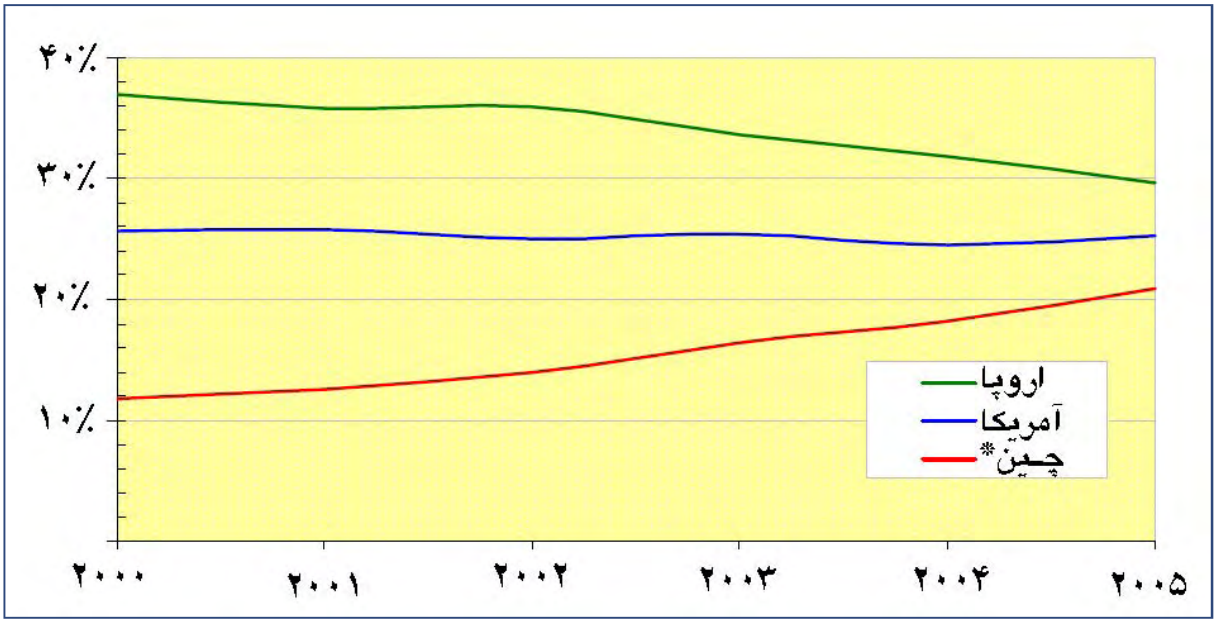
داده‌های مربوط به تعداد نشریات و ارجاعات می‌تواند تا حدودی معیاری برای خروجی تحقیقات چه به لحاظ کمی و چه به لحاظ کیفی باشد. براساس همین معیار و با در نظر گرفتن داده‌های مربوط به هر کشور، باز هم آمریکا به لحاظ مقالات نانو نسبت به سایر کشورها پیشتاز است. (نگاه کنید به شکل‌های ۲-۴ و ۲-۵)[۱۷] آمریکا همچنین به لحاظ درصد تعداد ارجاعات مقالات (نمودار ۲-۶) که معیار کیفی دیگری به شمار می‌آید باز هم پیشتاز است. البته وقتی ۲۷ کشور اتحادیه اروپا را یکجا در نظر بگیریم به لحاظ کل مقالات، آمار بیشتری نسبت به آمریکا خواهند داشت. (شکل ۲-۴) همچنین درصد مقالات چین و تایوان از سال ۲۰۰۴ (شکل ۲-۶) افزایش قابل توجهی داشته است که حاکی از افزایش توجه به تحقیقات در حوزه فناوری‌نانو و نیز رشد و توسعه در آن کشورهاست. اما با این حال درصد افزایش مقالات آنها با افزایش میزان ارجاعات آنها همراه نبوده است. (شکل ۲-۷)



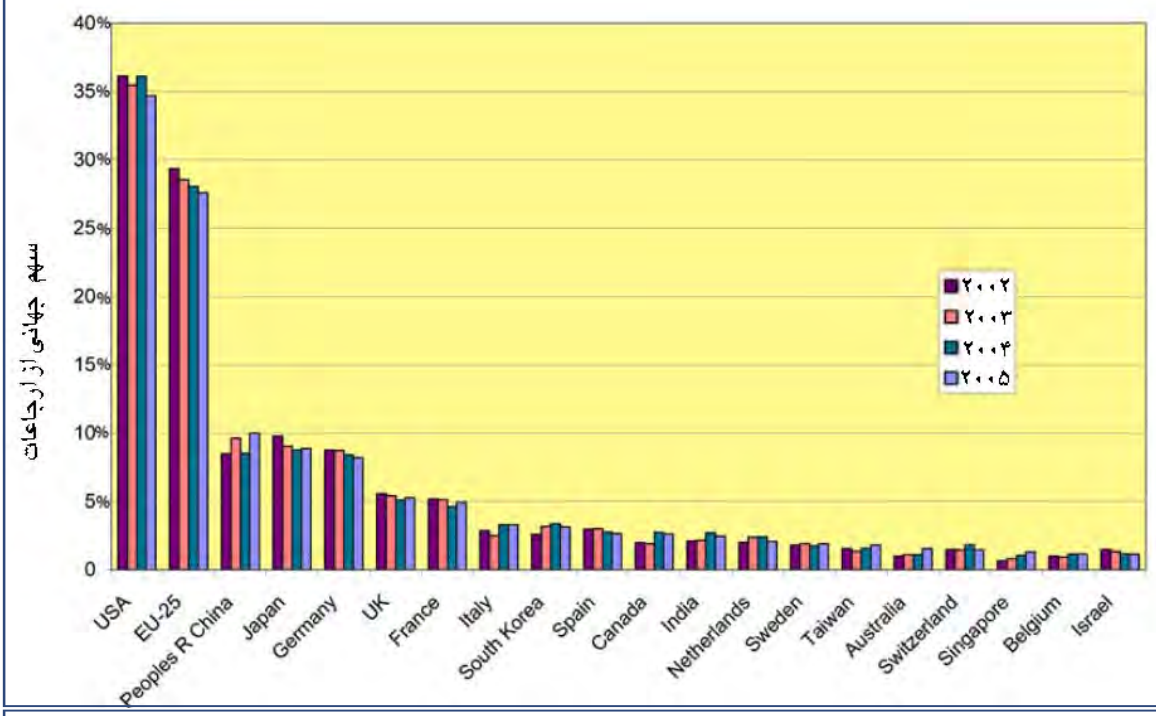
شکل ۲-۴ میزان مقالات فناوری‌نانو در جدول ارجاعات علمی (SCI) (چین تایوان را هم شامل می‌شود)



شکل ۲-۵ درصد مشارکت هر کشور در مقالات فناوری‌نانو (تحقیق بر مبنای عنوان و چکیده مقاله) در نشریات Science، Natureو Proceedings of the National Academies of science(سه نشریه برتر بر حسب میزان ارجاعات دیگر مقالات و اختراعات ثبت شده فناوری‌نانو به آنها)



شکل ۲-۶- میزان مقالات فناوری‌نانو در جدول ارجاعات علمی بر حسب زمان (چین شامل تایوان هم است) .

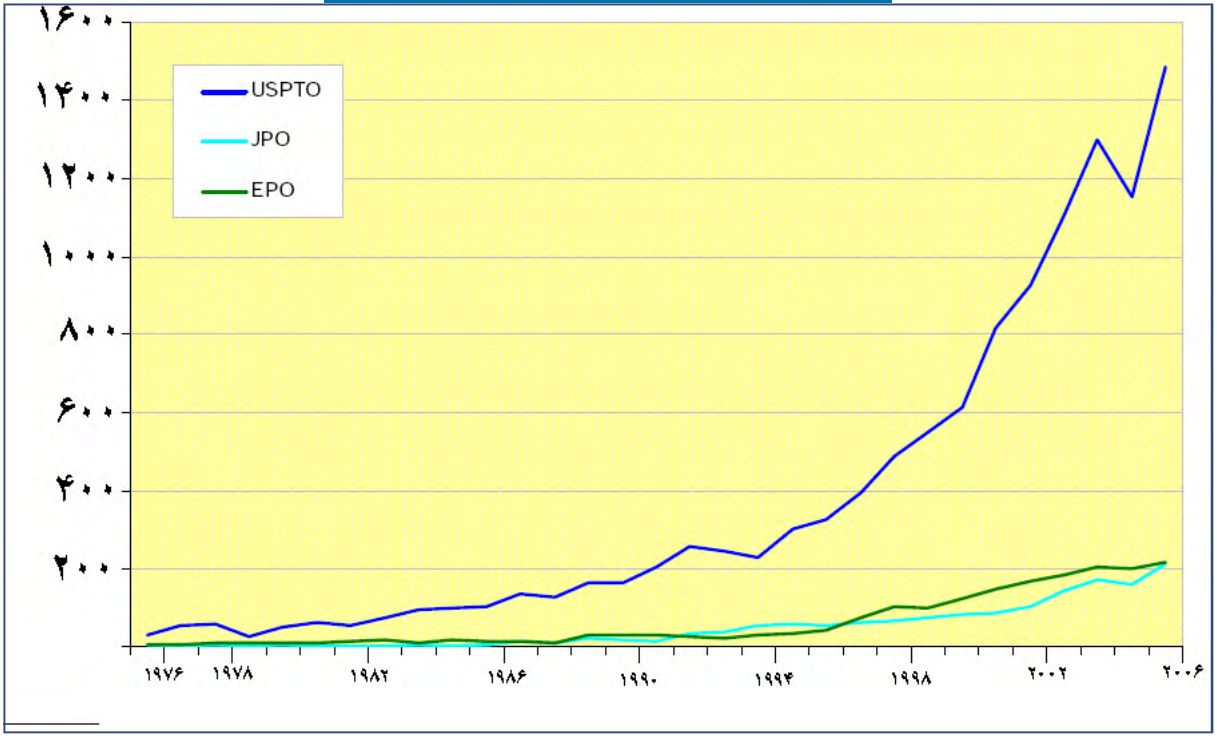


شکل ۲-۷ ارجاعات بر حسب کشور

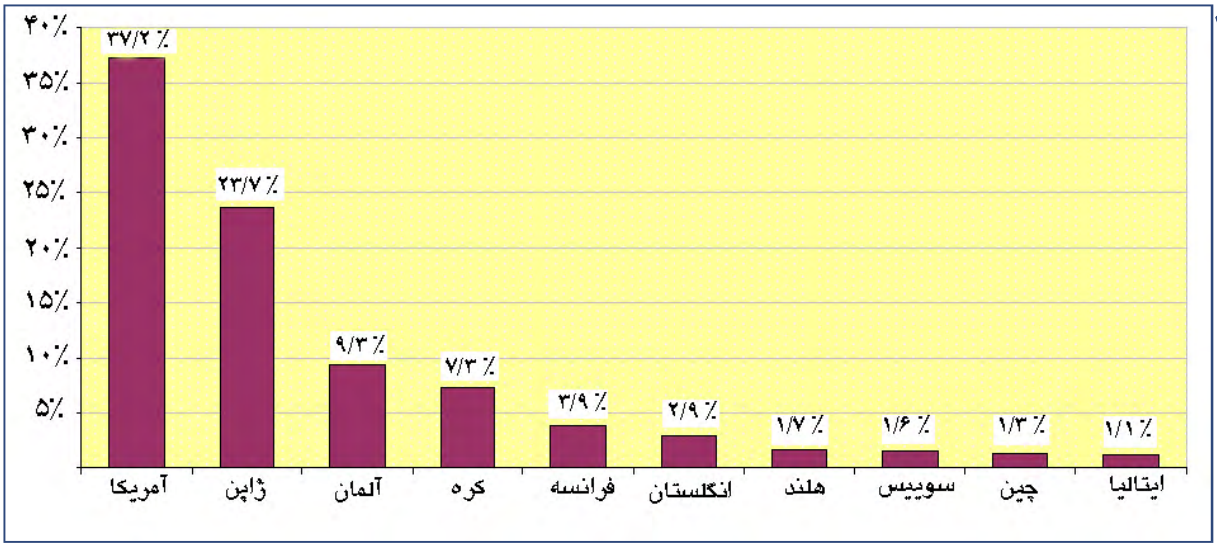
◊ ایده‌ها و اختراعات

با توجه به مقاله‌ای که اخیراً منتشر شده است، تعداد اختراعات ثبت شده مرتبط با فناوری‌نانو در اداره ثبت اختراعات و علائم تجاری آمریکا (USPTO) و اداره ثبت اختراعات اروپا (EPO) از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۴ به طور نمایی افزایش یافته است. (تعداد اختراعات ثبت شده مشابه در اداره ثبت اختراعات ژاپن (JPO) در همین مدت وضعیت ثابتی نداشته است). به علاوه هنگامی که داده‌های مربوط به کشوری که اختراع در آن ثبت می‌شود، را هم در نظر بگیریم باز تعداد اختراعات ثبت شده در آمریکا که به فناوری‌نانو مربوط است، بیشتر است. (با توجه به داده‌های موجود در پایگاه داده USPTO و EPO).

تحلیل مستقلی که توسط USPTO انجام شده است بر این نکته صحه می‌گذارد که مخترعان آمریکایی و کسانی که در آن کشور درخواست ثبت اختراع داده‌اند بیشترین تعداد اختراعات ثبت شده مربوط به فناوری‌نانو در سطح جهان را دارند. به علاوه این افراد بیشترین میزان ثبت اختراع درسه کشور یاد شده یا کشورهای دیگر را دارند و این حاکی از تلاش جدی‌تر آنها درسطح بین‌المللی برای حفاظت از اختراعات ثبت شده است. (شکل ۲-۹) با در نظر گرفتن میزان توجه به بازار جهانی و ارزش تجاری بالقوه فناوری‌نانو، باز هم آمریکا ایده‌های بیشتری برای تجاری‌شدن و تولید انبوه در اختیار دارد. کشورهایی که پس از آمریکا بیشترین فعالیت را در این زمینه دارند به ترتیب عبارتند از: ژاپن، کره و فرانسه.



شکل ۲-۸- تعداد اختراعات ثبت شده مربوط به فناوری‌نانو بر حسب عنوان و چکیده



شکل ۲-۹- گواهی‌های مربوط به ثبت اختراع فناوری‌نانو در یک موضوع در سه کشور و غیر از آن به تفکیک کشورهای صادر کننده گواهی

◊ مدیریت منابع و ترغیب ذی‌نفعان

مؤسسات NNI همچنان به گسترش دسترسی به دانش پایه مربوط به تحقیقات زیربنایی و ابزارآلات در دسترس در آزمایشگاه‌های تحت حمایت دولت ادامه می‌دهد. وزارت آموزش آمریکا (DEO) به طور چشمگیری دسترسی کاربران به تجهیزات مورد نیازشان در تحقیقات نانومقیاس و همکاری با NSRCهایی که در کنار آزمایشگاه‌های ملی آرگون، برکلی، آک ریج و ساندیا لوسالوموس قرار دارد را گسترش داده است. (در این زمینه نگاه کنید به:(http://www.science.doe.gov/nano/)

بنیاد ملی علوم (NSF) به حمایت خود از شبکه ملی زیر ساختی فناوری‌نانو (NNIN,http://www.nnin.org/) که در سال ۲۰۰۴ راه اندازی شده ادامه می‌دهد. این شبکه متشکل از مجموعه‌ای از تجهیزات آزمایشگاهی است که به منظور ارائه خدمات به جامعه تحقیقاتی در هر دو بخش دانشگاه و صنعت طراحی شده‌اند. این مراکز رکن اصلی NNI را تشکیل می‌دهند و نقش بسیار مهمی در توسعه اولیه و نیز در فراهم آوردن امکانات مربوط به نوآوری‌های تجاری (به ویژه توسط کسب و کارهای کوچک و نیز شرکت‌های بزرگ) دارد و در دسترس بودن این تجهیزات کمک زیادی به حفظ موقعیت رقابتی آمریکا می‌نماید.

◊ همکاری‌های صنعتی

پیشرفت موفق فناوری‌نانو از مرحله اکتشاف تا کاربرد به تعامل، هماهنگی و ارتباط مؤثر و ویژه دولت و صنعت بستگی دارد. NNI به منظور تسهیل توسعه فناوری‌نانو با در اختیار داشتن تجهیزات زیر ساختی مناسب به همکاری با گروه‌های صنعتی مختلف (به‌عنوان مثال نیمه رسانا، صنایع شیمیایی و محصولات جنگلی) به‌طورعمده از طریق کارگروه NINI می‌پردازد. برنامه تحقیقاتی پیشگامی نانوالکترونیک (NRI, http://nri.src.org) نمونه‌ای از برنامه همکاری مشترک و نوید بخش دولت و صنعت است که حوزه تمرکز آن، محقق ساختن نسل بعدی فناوری‌های پردازش اطلاعات (که بالاتر از cmosهای[۱۸] مورد استفاده در مدارهای مجتمع کنونی هستند) اختصاص دارد و از طریق فعالیت‌های مشترک با مراکز صنعتی و برنامه‌های آموزشی مشترک با دانشگاه‌های آمریکا انجام می‌شود.

◊ هماهنگی جهانی

آمریکا در تأسیس و رهبری سازمان‌های فعال در زمینه فناوری‌نانو ازقبیلWPM[۱۹] وابسته به OECD و WPMN (فعال در زمینه تولید نانومواد) فعالیت زیادی دارد. در واقع آمریکا نقش پیشگامانه‌ای در هماهنگ‌سازی تحقیقات مربوط به پیامدهای زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی فناوری‌نانو WPMN (که ریاست آن را نماینده EPA عهده‌دار است) ایفا می‌کند. WPMN هدایت کننده تلاش‌هایی است که به منظور به اشتراک گذاشتن اطلاعات مربوط به موضوعات EHS صورت می‌گیرد و علاوه برآن وظیفه هماهنگی و توسعه مشترک اطلاعاتی راکه در اختیار داشتن

آنها برای دولت‌ها و صنایع در سطح جهان ضروری است، عهده‌دار است.

توسعه استانداردهای موثر از جمله مسائل بنیادی ضروری برای رشد کلان تجاری‌سازی فناوری‌نانو و نیز پیش‌بینی، ارتباط و شناخت بهتر آن است. در فعالیت‌های مربوط به استانداردسازی که از طریق ISO در سطح ملی و بین‌المللی صورت می‌گیرد، نمایندگانی از زیر کمیته NSET و سازمان‌های عضو NNI مشارکت دارند.

کمیته فنی ISO در زمینه فناوری‌نانو سعی دارد تا استانداردهایی را برای تعریف واژه‌ها و اصطلاحات مرتبط با این رشته و ابزارآلات و مقیاس‌سنجی آن و همچنین موارد مربوط به سلامتی، محیط زیست و ایمنی بیابد. استانداردهای ایزو غالباً کاربرد گسترده‌ای می‌یابند و NNAP در مجموع بر ادامه مشارکت NNI و پیشگامی آن در این فعالیت‌ها تأکید دارد.

◊ به روزرسانی برنامه راهبردی NNI

زمانی که این گزارش نهایی می‌شد، NNI برنامه راهبردی به روز شده‌ای از آنچه اولین بار در سال ۲۰۰۴ منتشر شده بود را به طور رسمی ابلاغ نمود. در این برنامه راهبردی چارچوبی برای دولت آمریکا به منظور تحقق اهداف بنیادی و اولویت‌های برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI) مشخص شده است که برخی از موارد آن عبارتند از: انجام تحقیقات پیشرفته جهت رفع نگرانی‌هایی که نسبت به عوارض احتمالی فناوری‌نانو بر حوزه سلامت، محیط زیست و ایمنی (HES) وجود دارد.

در برنامه راهبردی تجدید نظر شده NNI که در دسامبر ۲۰۰۷ منتشر شده همان حوزه‌های سرمایه گذاری راهبردی برنامه قبلی لحاظ شده است؛ اما با این حال برای سازگاری عملی و وضوح بیشتر، حوزه‌ها به دو بخش تقسیم شده‌اند: HSE (محیط زیست، بهداشت و ایمنی) و ابعاد آموزشی اجتماعی (شامل آموزش، اخلاق، موضوعات قانونی و اقتصاد) . در نسخه جدید برنامه راهبردی (۲۰۰۷) مجموعه‌ای از فرصت‌های تحقیقاتی بسیار موثر گنجانده شده است که می‌تواند مواردی از کاربردها که استفاده از فناوری‌نانو در آنها موجب پیشرفت گردیده و در نتیجه تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد و جامعه بگذارد را به ما نشان دهد. چنین تغییراتی در برنامه راهبردی موجب پیشرفت علمی و مدیریتی NNI شده و فعالیت‌های گسترده میان سازمانی آن و تأثیراتی که بر تحقیق و توسعه و نوآوری‌های صنعتی و دانشگاهی می‌گذارد را با یکدیگر هماهنگ می‌کند.

به عقیده گروه NNAP روند تدوین و تصویب NNI باید به گونه‌ای اصلاح شود که بررسی‌های مربوطه به جای دو سال یکبار به مبنای هر سه سال یکبار (همانند بررسی NRC) انجام شود تا بتوان از نتایج حاصل از تجدیدنظری که هر سه سال یکبار در برنامه راهبردی NNI اتفاق می‌افتد، استفاده نموده و در نتیجه گزارش کامل‌تری تهیه گردد.

♦ ۳- کاربردها: تقویت تجاری‌سازی موجود و ابداعات نوظهور

◊ یافته‌های مبنایی

تاثیر روبه رشد توسعه فناوری‌نانو به طور گسترده در صنعت و انواع محصولات قابل مشاهده است.

محدوده‌ای که طی آن یک محصول یا فرآیند با فناوری‌نانو توانمند شده یا از نانومواد تشکیل شده باشد بسیار متغییر است و به توسعه استانداردهای پیچیده، برآورد بازار و ارزیابی دوره‌ای بستگی دارد.

اگر چه بسیاری از کاربردهای اولیه ماهیتی تکاملی دارند، اما با این وجود نوآوری‌های حوزه فناوری‌نانو نوید بخش کاربردهایی هستند که در آینده نزدیک موجب تغییر الگو می‌شوند.

NNI از نقشی محوری در رفع موانع موجود بر سر راه تکامل فناوری‌نانو و تجاری‌سازی آن برخوردار بوده و این کار را از طریق حمایت‌های تحقیقاتی پایه و کاربردی، توسعه زیرساخت‌های ضروری و آموزش و تربیت نیروهای متخصص انجام می‌دهد.

◊ زمینه تجاری‌سازی

فناوری‌نانو شامل طیف گسترده‌ای از ابزارها و مواد مهندسی با محدوده کاربردهای وسیع و درجات منافع و مخاطرات مختلف است. محدوده‌ای که بتوان یک کالا یا فرآیند را توانمند شده با فناوری‌نانو یا متشکل از نانومواد به حساب آورد، بسیار متغیر است و به تعیین مشخصات پیچیده، توسعه استانداردها، برآورد بازار و ارزیابی دوره‌ای بستگی دارد. به‌عنوان مثال در بسیاری از کابردها از نانومواد به‌عنوان ماده خام در فرآیند تولید استفاده می‌شود اما محصول تجاری نهایی دیگر شامل نانومواد نیست (مانند بسیاری از فناوری‌های تولید پیل‌های خورشیدی و مواد کامپوزیتی) تا بتوان آن را در زمره محصولات نانو به حساب آورد.

به‌علاوه گاهی غیر از مقیاس، معیارهای دیگری (برخلاف آنچه نوعاً تصور می‌شود) در نسبت دادن صنعت یا محصولی به فناوری‌نانو پدید می‌آید که این امر موجب می‌شود تا برخی از تولیدات بی‌دلیل در زمره فناوری نانو قرار گرفته و یا از شمول آن خارج شوند که در نتیجه موضوعات اصلی پیرامون توسعه فناوری‌نانو و محقق ساختن آن دچار ابهام شده و چندان مشخص نخواهند بود. به‌عنوان مثال ادعا می‌شود که هر روز محصول جدیدی که به ظاهر با فناوری‌نانو ساخته شده است به بازار عرضه می‌شود. چنین ادعاهایی موجب این تصور نادرست می‌شود که توسعه فناوری‌نانو همانند یک قطار سریع السیر است، چنین پندارهایی واقعیت مطلب را خدشه دار می کنند. حقیقت آن است که در عمده‌ی کاربردهای تجاری کنونی فناوری‌نانو از دسته مواد اصلی مشخصی استفاده شده است که عبارتند از: نانوساختارهای کربنی، نانوسیم‌ها و نانوذرات نقره و طلا، اکسیدهای فلزی نانومقیاس و چند ترکیب محدود دیگر. (OECD فهرستی از حدود چهارده ماده که در مجموع در بیشتر کاربردهای کنونی فناوری‌نانو مورد استفاده قرار می‌گیرند تهیه نموده است.) دولت فدرال در راستای حمایت از توسعه مسئولانه و ارزیابی کامل

از دورنمای مخاطرات/ فواید، به سرمایه‌گذاری و انجام تحقیقات درباره این مواد و نیز سایر نانومواد و کاربردهای ویژه دیگر ادامه می‌دهد.

در مجموع می‌توان گفت چالش‌هایی که کم و بیش در مسیر توسعه، تولید و تجاری سازی محصولات و فرآیندهای توانمند شده با فناوری‌نانو وجود دارد، تنها خاص این فناوری نیست. سرمایه‌گذاران و تجار نوعاً به‌دنبال مزایای محصولات موجود و یافتن راهی برای تولید مطمئن، مقرون به صرفه و قابل تکثیر هستند و در تولید محصولات فناوری‌نانو نیزهمانند هر کالای دیگری، این تولید کننده است که باید جوابگوی ایمنی و سلامت کارگران و مشتری باشد.

اظهار نظر قاطع درباره وضعیت فعلی تأثیرات اقتصادی سرمایه گذاری آمریکا در فناوری‌نانو و نیز دورنمای آینده آن به راحتی امکان پذیر نیست. برآوردهای تخمینی گوناگونی که از وضعیت بازار محصولات توانمند شده با فناوری‌نانو وجود دارد نوعاً حاکی از آن است که آنها غالباً پایین دست نوآوری‌های فناوری‌نانو قرار می گیرند. چنین پیش‌بینی‌هایی از وضعیت بازار، بر مبنای دسته بندی‌های کاملاً تعریف شده‌ای از نانومواد و نانوابزارها و دسته‌های مشخصی از محصولات توانمند شده با آنها صورت گرفته است و این پیش‌بینی‌ها در صورت برخورداری از کیفیت مناسب، می‌توانند ما را تا حدودی به نتایج معقول و قابل قبول برسانند. این امر به خصوص با در نظر گرفتن ماهیت بنیادی فناوری‌نانو و اثرات گسترده و بالقوه آن بر مواد، محصولات و فرآیندهای روزمره فرض مناسبی به نظر می‌رسد. تأثیر کنونی فناوری‌نانو بر فعالیت‌های تجاری را می‌توان از راه‌های زیر ارزیابی نمود: تعداد شرکت‌ها و گستره فعالیت آنها (هم نقش خالص و هم تلفیقی[۲۰])، تعداد شرکت‌های نوپا و میزان سرمایه‌گذاری‌های مشارکتی و خطر پذیر (VC)، تحقیق و توسعه (البته در صورت در دسترس بودن این اطلاعات). در جدول ۳-۱ خلاصه‌ای از این داده‌ها در مورد شرکت‌های جدید فناوری‌نانو به تفکیک هر ایالت آمده است[۲۱].

NNI در حال گسترش تلاش‌های خود برای ارزیابی نوآوری‌های ملی و بین المللی مربوط به فناوری نانو و فعالیت‌های تجاری سازی مرتبط با آن است. برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI) از طریق سازمان‌های عضو و فعالیت‌هایی که با حمایت NNCO انجام می‌شود، از تعدادی از فعالیت‌هایی که با هدف گردآوری و تحلیل داده در زمینه نوآوری (به عنوان مثال گرایش به ثبت اختراع و تحقیقات صنعتی و جمع آوری داده) انجام می‌شود حمایت می‌کند. هیئت مشورتی NNAP در عین حالی که این تلاش‌ها را تحسین می‌کند اما توصیه اعضای این هیئت، مشارکت بیشتر وزارت تجارت (DOC) در این زمینه و ادامه حضور فعال آمریکا در OECD برای دستیابی به داده‌های بهتر در سطح بین المللی است.

جدول ۳-۱ شرکت‌های جدید فناوری‌نانو و سرمایه گذاری خطر پذیر (۲۰۰۶-۱۹۹۵) به تفکیک ایالت.[۲۲]

ایالت	تعداد شرکت‌های جدید فناوری‌نانو	تعداد شرکت‌های فناوری‌نانو با سرمایه‌گذاری خطرپذیر	مجموع سرمایه‌های خطرپذیردرشرکت‌های نانو (برحسب میلیون دلار)
آلاباما	۲	۰	۰
آریزونا	۵	۱	۴۰
آرکانزاس	۲	۰	۰
کالیفرنیا	۴۲	۱۳	۴۴۷
کلورادو	۶	۱	۳۲
کانکتیکات	۲	۰	۰
دلوار	۱	۰	۰
فلوریدا	۷	۱	۴
جورجیا	۲	۲	۴۱
ایلینوی	۹	۶	۵۴
آیووا	۱	۱	۲
کانزانس	۲	۰	۰
کنتاکی	۱	۰	۰
مریلند	۳	۱	۱۱
ماساچوست	۲۵	۷	۲۴۴
میشیگان	۱۲	۲	۲۷
مینیسوتا	۷	۲	۵
میسوری	۳	۱	۲۰
نیوجرسی	۷	۲	۵۰
نیومکزیکو	۱۰	۲	۴۶
نیویورک	۱۳	۲	۳۷
کارولینای شمالی	۵	۲	۸
اوهایو	۵	۱	۱۶
اوکلاهاما	۳	۰	۰
پنسیلوانیا	۱۲	۴	۹۷
رودآیلند	۲	۰	۰
تنسی	۸	۰	۰
تگزاس	۱۷	۴	۹۱
اوتا	۱	۰	۰
ویرجینیا	۷	۰	۰
واشینگتون	۲	۲	۱۰
ویسکانسین	۴	۳	۳۸
ویومینگ	۲	۰	۰
مجموع	**۲۳۰**	**۶۰**	**۱۳۲۴**

♦ مطالعات موردی

اطلاعات به دست آمده از تعدادی از نمایندگان nTAG حاکی از توافق آنها بر این نکته است که توسعه فناوری‌نانو هنوز نتوانسته است آنگونه که پیش بینی می‌شد انقلابی را در عرصه تجارت ایجاد کند و بسیاری از کاربردهای اولیه‌ای که امروزه در بازار مشاهده می‌شود تنها صورت تکامل یافته بهتری از مواد و محصولات موجود است. البته در عین حال به‌نظر این افراد، توسعه فناوری‌نانو در بسیاری از زمینه‌ها و از جمله ابزارهای داروررسانی و الکترونیک نیمه‌هادی‌ها بسیار سریع‌تر از حد مورد انتظار بوده است.

NNI در سال ۲۰۰۱ ایجاد شده و فعالیت آن ادامه داشته است. بخشی از کاربردهای فراوان امروز فناوری‌نانو و نوآوری‌های برجسته‌ای که به بازار مصرف راه پیدا می‌کنند، حاصل سرمایه‌گذاری‌هایی است که NNI تا به امروز انجام داده است.

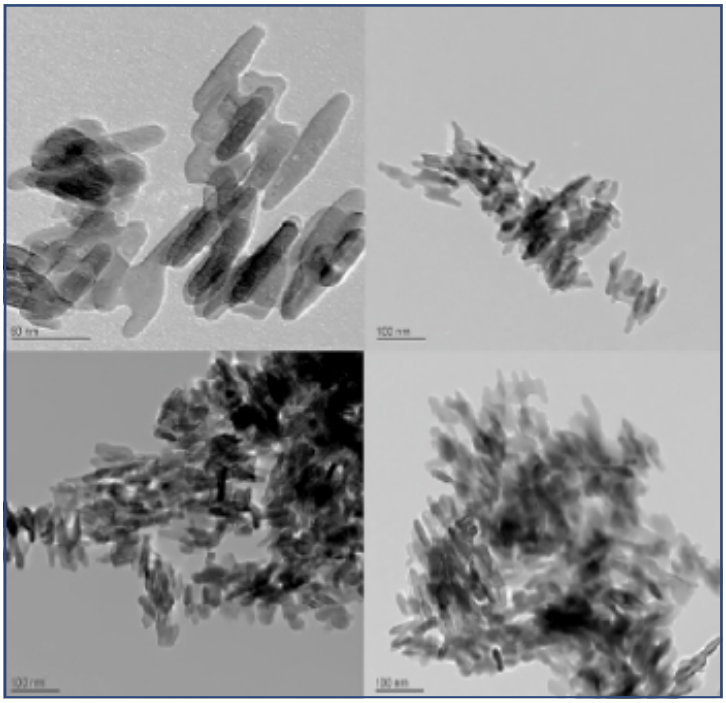
در ادامه به نمونه‌هایی از چگونگی حمایت NNI از روند تجاری سازی کنونی و ابداعات نوظهور در چهار دسته کالاهای مصرفی، زیست پزشکی، انرژی و الکترونیک اشاره خواهیم کرد. همچنین پس از آن به موردی دیگر که به نقش مهم نانولوله‌های کربنی اشاره دارد به عنوان مثالی از فناوری پایه برای نانومواد که کاربردهای گسترده‌ای هم دارد، خواهیم پرداخت.

◊ کالاهای مصرفی

استفاده از اکسیدهای فلزی نانومقیاس در کرم‌های ضد آفتاب: نمونه‌ای توازن منافع و مخاطرات یک کاربرد مشخص در زمینه سلامت انسان.

کرم‌های ضد آفتاب شاید یکی از شناخته شده‌ترین کالاهای مصرفی است که در آن از مواد نانومقیاس استفاده شده است. دی اکسید تیتانیوم، اکسید فلزی بسیار خنثی است که به دلیل برخورداری از ویژگی اصلاح نور در محصولات متعددی به کار می‌رود و از مواد کلیدی مورد استفاده در تهیه بسیاری از کرم‌های ضدآفتاب به شمار می‌آید. در این کاربرد، ترکیب دی اکسید تیتانیوم را به صورت میکرونی و به شکل ذرات میکرومقیاس و یا نانومقیاس در می‌آورند. (شکل ۳-۱) این کار دو فایده دارد: (۱) کرم ضد آفتاب به جای آنکه سفید باشد شفاف بوده و موقع استفاده بهتر به پوست می‌چسبد و (۲) اینکه کرم ضد آفتاب می‌تواند به شکل مؤثرتری نسبت به کرم‌های ضد آفتاب معمولی پرتوهای مضر فرابنفش (UV) را جذب کند.

هم اکنون نتایج تحقیقات فراوانی که در زمینه پاسخ‌های زیستی نسبت به دی اکسید تیتانیوم نانومقیاس و دیگر اکسیدهای فلزی نانومقیاس انجام گرفته منتشر شده و در دسترس است.



شکل ۳-۱ روتیل های نانومقیاس دی اکسید تیتانیوم (استفاده از تصویر با اجازه برنامه ملی سم شناسی)

در حال حاضر محققان درباره این موضوع تحقیق می‌کنند که اولاً آیا استفاده از کرم‌های حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم روی پوست، موجب نفوذ این نانوذرات به پوست می‌شود یا خیر؛ و اگر هم نفوذ کنند آیا با اثرات سمی همراه است یا خیر. (Nohynek ۲۰۰۷) به هر حال تحقیق در مورد سمیت این مواد و روشن شدن ابهامات مربوط به تبعات قرار گرفتن در معرض این نانوذرات در قالب برنامه ملی سم شناسی و نیز دیگر فعالیت‌های دولت در این زمینه و کارهای دیگر، همچنان ادامه دارد.[۲۳]

برای تحقیق در این مورد، برخی محققان خواستار اظهار نظر بخش صنعتی و دولتی در مورد تمامی مراحل تولید کالاهای مصرفی که در آنها از فناوری‌نانو استفاده شده است (استرداد محصول[۲۴] یا برچسب زنی[۲۵] یا استمهال[۲۶]) شده‌اند.

اگر چه حوزه تمرکز اغلب این درخواست‌ها به مخاطرات احتمالی مواد نانومقیاس مربوط می‌شود، با این حال هنوز محققان نتوانسته‌اند مخاطرات نسبی گسترده و فواید کرمهای ضد آفتاب- چه کرم‌های نانومواد و غیر آن – را برای سلامت بشر در نظر بگیرند. در مقابل یک مؤسسه غیر دولتی ارزیابی دقیق و گسترده‌ای در مورد کرم های ضدآفتاب (شامل ارزیابی دیگر محتویات شیمیایی و منافع کاربردی آنها) انجام داده است.

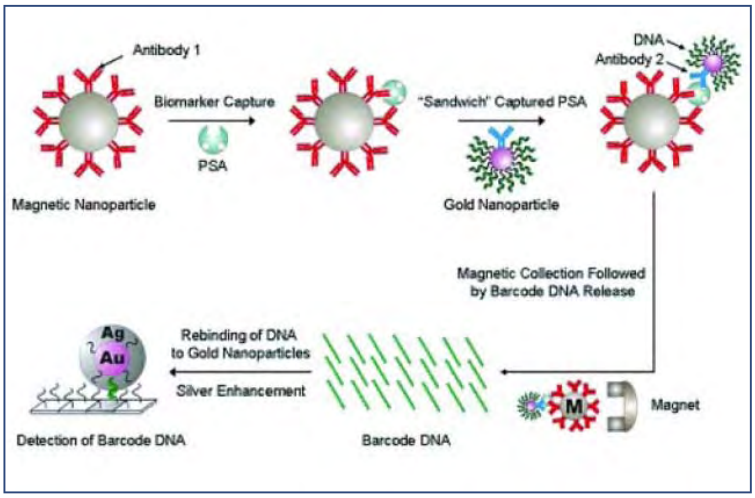
این محققان بر خلاف انتظارشان دریافتند که کرم‌های ضد آفتاب حاوی دی اکسید تیتانیوم یا اکسید روی یکی از بی‌خطرترین و مؤثرترین کرم‌های ضد آفتاب موجود هستند. (EWG۲۰۰۷) در بررسی آنها معلوم شد که میزان جذب و مخاطرات محتویات غیر مجاز کرم‌ها بسیار بالاتر از اکسیدهای فلزی نانومقیاس است. در واقع داده های به‌دست آمده از دی اکسید تیتانیوم حاکی از آن است که با استفاده از کرم‌های دارای این ترکیب، پوست به هیچ عنوان در معرض تابش‌های خورشید قرار نگرفته و خطر پرتوهای فرابنفش نیز بهتر کاهش می‌یابد. این در حالی است که بسیاری از ترکیبات دیگری که در کرم‌های ضد آفتاب به‌کار می‌رود به عنوان ترکیباتی خطرناک شناخته می‌شوند و حفاظت کمتری در برابر پرتوهای فرابنفش دارند.

به هر حال در بین تمام منافع و مخاطرات نسبی این مواد، فواید بهداشتی کلی آنها (چسبندگی بهتر به پوست و حفاظت مؤثرتر UV و شفاف شدن آنها که موجب رغبت بیشتر مصرف کنندگان می‌گردد.) به روشنی بر مخاطرات بهداشتی آن، چه مخاطرات شناخته شده (سرطان ناشی از قرار گرفتن در معرض پرتوهای فرابنفش و یا سمیت مواد شیمیایی) و غیر شناخته شده آن غلبه دارد. به عبارت دیگر این فواید آنقدر زیاد است که مخاطرات احتمالی در مقابل آن ناچیز جلوه می‌کند.

◊ زیست پزشکی

تشخیص همزمان نشانگرهای زیستی چندگانه بیماری

فناوری واکنش‌های زنجیره‌ای پلیمری (PCR)[۲۷]، تحقیقات پایه و طب تشخیصی را دستخوش تحول کرده است. این تحول ناشی از توانایی این فناوری در بزرگ نمایی و آشکارسازی مقادیر بسیار اندک رشته‌های DNA است. محققان دانشگاه نورث وسترن موفق به توسعه نوعی فناوری‌نانو تشخیصی با نام ارزیابی بارکد زیستی شده‌اند که همانند PCR برای پروتئین‌ها عمل می‌کند. (نگاه کنید به شکل ۳-۲) در روش ارزیابی به کمک بارکدهای زیستی، می‌توان به طور همزمان میزان اثر چندین علامت‌زن زیستی (از جمله DNA و پروتئین‌ها) که در سلول‌های سرطانی انسان وجود دارند را با استفاده از اولیگونوکلئوتید و پادتن پوشیده شده با نانوذرات طلا آشکار نمود.



شکل ۳-۲ در ارزیابی زیست بارکد از دو پروب ذره‌ای، هر کدام ویژه یک زیست علامت زن هدف گیری شده مشخص. یکی از این پروب‌ها ذره‌ای مغناطیسی است که می‌تواند هدف مورد نظر را در محیط‌های ترکیبی به دام اندازد. دیگری یک نانوذره طلا است که ویژه هدف مورد نظر است و در عین حال صدها تا هزاران بارکد از دنباله‌های DNA ویژه آن هدف را به همراه خود دارد. این زیست بارکدهای رها شده را می‌توان با استفاده از روش‌های معمولی آشکار سازی DNA (میکرو آرایه، فلورسانس و روش‌های الکترو شیمیایی) آشکار نمود.

استفاده از این تصویر با اجازه چاد میرکین از دانشگاه نورث وسترن

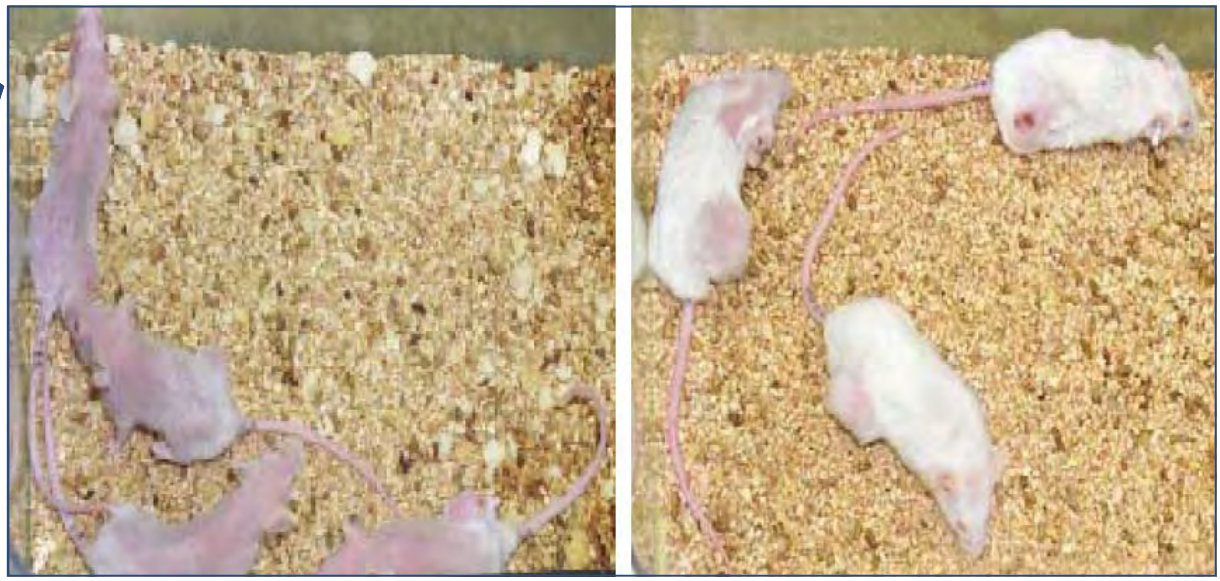
در سال ۲۰۰۷ این محققان از بارکدهای زیستی اولیگونوکلئوتیدی که نانوذراتی به آنها چسبیده بودند، برای آشکار سازی سه پروتئین علامت زن زیستی مربوط به سرطان استفاده کردند. علامت‌زن‌های زیستی اخیر عبارتند از: آنتی ژن ویژه پروستات (PSA)، گونادوتروفین پرده جنین انسانی (HCG)[۲۸]، علامت‌زنی سرطان بیضه و فتو پروتئین آنها (AFP)، علامت زن سرطان کبد. در این حالت، محققان از سه جفت نانوذره استفاده می‌کنند که هر کدام شامل یک بارکد DNA متفاوت است. با استفاده از روش بارکد زیستی امکان ارزیابی همزمان هر کدام از این سه علامت زن حتی در غلظت‌هایی چندین برابر کمتر

از میزان استاندارد قابل تشخیص در ارزیابی‌های ایمنی فراهم می‌شود. (استوئوا و همکاران، ۲۰۰۶)

توانایی تشخیص مستقیم میزان ناچیز زیست علامت‌زن‌های پروتئینی سرم‌ها (خونی) با این روش چند گانه، روش‌های تشخیصی قدرتمندتری برای آشکار سازی زود هنگام غده‌های بدخیم (در همان مراحل اولیه شکل گیری آن) را فراهم می‌آورد. فناوری‌نانو ارزیابی زیست بارکدی، روشی است که به وسیله شرکت Nanosphere توسعه یافته و تا به امروز سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) مجوز استفاده از آن را در دو آزمایش تشخیص طبی مولکولی مربوط به ناهنجاری‌های خونی صادر نموده است. (شرکت Nanosphere ۲۰۰۷)

نانوذرات حامل داروی ضد سرطان به داخل سلول تومورها با بازدهی بیشتر و سمیت کمتر

درخت‌سان‌ها (پلیمرهای کروی نانومقیاس شاخه‌ای) ابزارهای دارورسان هدفمندی هستند که قابلیت امیدوار کننده‌ای در درمان سرطان از خود نشان داده‌اند. محققان دانشگاه میشیگان برای نخستین بار نشان داده‌اند که یک درخت‌سان هدفمند می‌تواند داروهای ضدسرطان را به داخل سلول‌های تومور برساند. در آزمایش‌های آنها معلوم شده است که این روش درمانی مبتنی بر فناوری‌نانو کارآیی بالایی در از بین‌بردن تومورهایی که در کبد حیوانات در طول زندگی آنها رشد می‌کند، دارد (کوکوسکا- لاتالو و همکاران ۵-۲) . این تحقیق در نوع خود اولین مطالعه



شکل ۳-۳ تصویر سمت چپ موش‌هایی هستند که تنها متوترکسات آزاد (۳۰mg/kg) دریافت کرده بودند، موهایشان ریخته و وزنشان را از دست داده‌اند و دچار عوارض جانبی دیگر این دارو شدند. اما در سمت راست موش‌هایی را مشاهده می‌کنید که برای از بین بردن تومور آنها از متوترکسات که به وسیله نانوذرات به نقطه هدف رسیده استفاده شده بود و موی آنها از بین نرفت (عارضه جانبی شایع در داروهای ضد سرطان) [تصویر با اجازه کوکوسکا لاتلو- مؤسسه فناوری‌نانو میشگان در علوم زیستی و پزشکی]

است که نشان می‌دهد داروهای نانوذره‌ای هدفمند رها شده در جریان خون، در سلول‌های سرطانی جمع شده و اثرات زیستی بر تومورها دارند.

گروه تحقیقاتی دانشگاه میشگان از متخصصانی از رشته‌های مختلف تشکیل شده است و هدف آنها توسعه درخت سان‌های چند کاره‌ای است که بتوانند به صورت حامل‌های هدفمند برای داروهای ضد سرطانی عمل کنند.

این پلیمرهای شاخه‌ای، نانوذرات به هم فشرده‌ای با اندازه‌های کاملاً تعریف شده (با قطر کمتر از ۲ نانومتر تا قطر بیش از ۱۳ نانومتر) را تشکیل می‌دهند. روی سطح این درخت‌سان‌ها گروه‌های شیمیایی فعالی قرار دارند که می‌توان از آنها برای اتصال مولکول‌های هدف، داروهای درمان‌گر و عامل‌های تصویربرداری (چه تنها و چه به‌صورت ترکیبی) استفاده نمود. محققان به این منظور از درخت‌سان‌های G۵ استفاده کردند. این درخت سان ها قطری حدود ۵ نانومتر داشته و می‌تواند ۱۱۰ مولکول هدف، دارو و عامل تصویربرداری را در خود جای دهد. محققان، فولات (Folate) را به عنوان مولکول هدف‌گیر و متوترکسات را به عنوان عامل درمانی به درخت سان متصل کردند.

فولات، پذیرنده‌های فولیک اسید با میل جذبی بالا که در سلول‌های سرطانی قرار دارد را هدف می گیرد و متوترکسات نیز داروی ضد سرطانی بسیار کارآمد اما بسیار سمی است. محققان همچنین مولکول فلورسنتی را به این درخت سان متصل کردند که می‌توانست همانند یک پروب تصویر برداری نوری عمل کند و محققان به کمک آن می‌توانستند رد توزیع درخت‌سان‌ها در بدن را با اندازه گیری فلورسانس بافت‌های مختلف دنبال کنند.

در مطالعه‌ای که روی موش‌های آزمایشگاهی که سلول‌های سرطانی مخاطی به آنها تزریق شده بود انجام گرفت، معلوم شد که تأثیر متوترکسات در توقف رشد تومور در موش‌هایی که آن را از طریق درخت سان ها دریافت کرده بودند نسبت به آنهایی که مستقیماً دریافت نموده بودند، ده برابر است. همچنین روش درمان نانوذره‌ای نسبت به روش دارویی صرف، به مراتب سمیت کمتری دارد. (نگاه کنید به شکل ۳-۳) در طولانی‌ترین دوره آزمایش (که ۹۹ روز طول کشید)، بیش از ۳۰ درصد موش‌هایی که نانوذرات چند کاره را دریافت کرده بودند، زنده ماندند اما در مقابل تمام موش‌هایی که دارو را مستقیماً دریافت کرده بودند یا بر اثر رشد تومور و یا بر اثر عوارض سمی دارو مردند. همچنین در این آزمایش هیچ تغییری در روند رشد تومور در موش‌هایی که تنها درخت‌سان‌های G۵ هدفمند اما بدون داروی متاترکسات دریافت کرده بودند، مشاهده نشد. در این آزمایش استفاده از برچسب فلورسنت هیچ تأثیری بر فعالیت ضد سرطانی دارو نگذاشت.

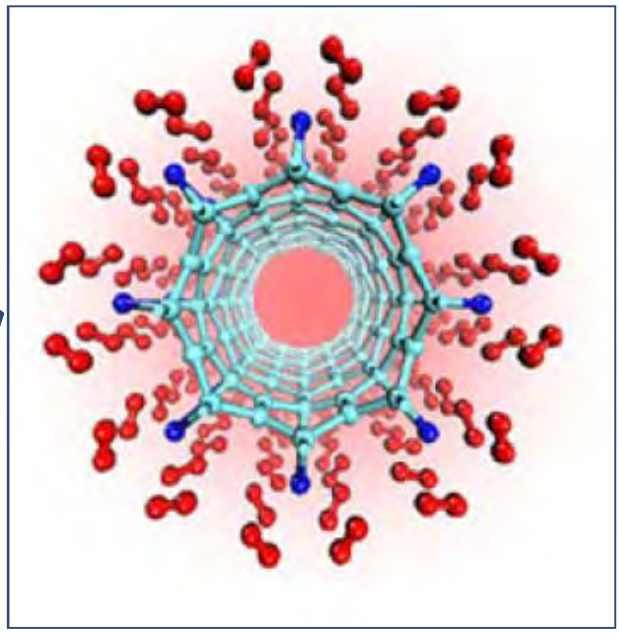
مطالعات مربوط به توزیع زیستی که با برچسب‌های فلورسنت انجام شد نشان داد که نانوذرات هدفمند فولات در تومورها و کبد جمع می‌شوند و غلظت آنها در تومور تا چهار روز پس از تزریق همچنان بالا می‌ماند. در این مطالعات همچنین مشخص شد که نانوذرات باقیمانده در جریان خون (که یا به هدف متصل نشده یا در نهایت دوباره از هدف آزاد شده‌اند) به سرعت توسط کلیه‌ها دفع می‌شوند این محققان هیچ شاهدی مبنی بر رسیدن این نانوذرات از طریق جریان خون به مغز نیافتند. در این مطالعه مشخص شد که این نانوذرات موجب تحریک سیستم ایمنی موش‌ها نمی‌شوند. مطالعاتی که با میکروسکوپ هم کانون (و با استفاده از برچسب فلورسنت روی

درخت‌سان‌ها) انجام شد، این نکته را تأیید نمود که نانوذرات هدفمند به سلول‌های تومور رسیده و جذب آنها شده‌اند.

محققان مؤسسه فناوری‌نانو دانشگاه میشیگان و مؤسسه درمانی آویدیمر (Avidimer Therapeutics) در نظر دارند تا در آینده با انجام بررسی‌هایی روی موش‌های آزمایشگاهی حداکثر دوز درمانی در روش درمان با نانوذرات حاوی متوترکسات را تعیین کرده و دیگر مطالعات اولیه‌ای که قبل از آزمایش بالینی این دارو در انسان لازم است را به انجام رسانند.[۲۹]

◊ انرژی

تولید پیل‌های خورشیدی نازک و سبک با فرآوری چاپی



شکل ۳-۴ مدل رایانه‌ای که در آن چگونگی اتصال اتم‌های تیتانیوم (آبی سیر) بالای مرکز نانولوله‌های کربنی تک جداره (آبی روشن) نشان داده شده است. هر اتم تیتانیوم می‌تواند به چهار مولکول هیدروژن (قرمز) متصل شده و در نهایت پیل‌های سوختی کارآمدی را جهت استفاده در نسل آینده اتومبیل‌ها تشکیل دهد. (دانشگاه بیل کنت ترکیه)

فناوری لایه نازک فوتوولتائیک طی دهه گذشته به حدی پیشرفت داشته که هم اکنون می‌توان با استفاده از آن کل نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل نمود اما عیبی که دارد آن است که گرانترین پیل‌های خورشیدی سیلیکونی به شمار می‌آیند. با دستیابی به روش های تولیدی جدید و کم هزینه، این پیل های لایه نازک می‌توانند سهم عمده‌ای در تأمین برق کشور داشته باشند. شرکت نانو سولار (Nanosolar) به این منظور به جای تجهیزات رسوب‌دهی خلأ برای ساخت پانل‌های خورشیدی که از جنس ماده نیمه رسانایی به نام دی سلیند گالیوم ایندیوم مس (CIGS) هستند، از فرآیند چاپی استفاده کرده است. در این روش جوهر نانوساختاری را درون پیل خورشیدی رسوب می‌دهند و ترکیب به دست آمده یک ماده جاذب نور خواهد بود.

شرکت نانوسولار اخیراً با استفاده از مجموعه‌ای از فناوری‌های نوین (که بخشی از آنها با حمایت وزارت انرژی، بنیاد ملی علوم و سازمان تحقیقات پیشرفته دفاعی انجام شده است) موفق شد اولین محموله از این محصول را صادر نماید.

این شرکت‌ها یکی از چندین دریافت کننده تسهیلات عمده‌ای هستند که با نظارت برنامه پیشگامی Solar America وزارت انرژی اعطا می‌شود. این تسهیلات در واقع برای شرکت‌هایی در نظر گرفته شده است که با استفاده از فناوری‌نانو سعی در پایین آوردن هزینه تولید انرژی‌های تجدید پذیر دارند. در واقع هدف نهایی آن است تا این

هزینه‌ها را به همان مقداری که برای منابع عمده انرژی کنونی تأمین کننده برق لازم است، برسانند.

نانولوله‌های کربنی آغشته به تیتانیوم، نوید بخش تولید پیل‌های سوختی با ظرفیت بالای ذخیره هیدروژن

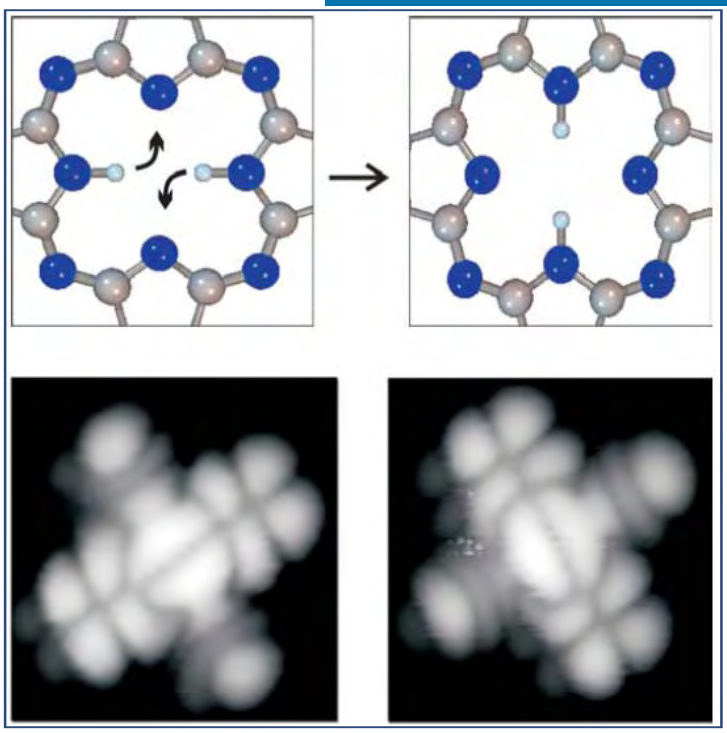
محاسبات کوانتومی و مدل‌های رایانه‌ای حاکی از آن است که نانولوله‌های کربنی (CNT ها) آغشته به تیتانیوم یا دیگر فلزات واسطه، قابلیت جذب تعداد زیادی مولکول هیدروژن (بسیار بیشتر از آنچه برای ذخیره مؤثر هیدروژن لازم است. شکل ۳-۴) را دارند که قابلیتی کلیدی در به ثمر رسیدن تلاش‌های طولانی مدت انجام شده برای توسعه پیل‌های سوختی به شمار می‌آید. قرار است از این پیل‌های سوختی در فناوری مدرن حمل و نقل استفاده شود. (ییلیدریم[۳۰] و سیراسی[۳۱] ۵-۲)

محققان NIST و همکاران بین المللی آنها بر اساس نظریه فیزیک کوانتومی موجود، معتقدند که با این روش هیدروژن می‌تواند تا میزان هشت درصد وزن نانولوله‌های کربنی تک جداره آغشته به تیتانیوم را تشکیل دهد و طبعاً این میزان بهتر از حداقل شش در صدی است که محققان Free dom Car Research Partnership با مشارکت وزارت انرژی و و خودروسازان آمریکا به آن رسیده‌اند. اما نکته مهمی که در اینجا وجود دارد آن است که این مولکول‌های هیدروژن با گرم شدن و حرارت دیدن به راحتی آزاد می‌شوند و این جذب برگشت پذیری لازمه عملی ذخیره هیدروژن است.

نانولوله‌های کربنی تک جداره با ساختار توری مانند استوانه‌ای که دارند یکی از گزینه‌های بسیار مناسب در ذخیره هیدروژن به شمار می‌آیند. با این حال حتی رسیدن به میزان ذخیره شش در صد هم کار آسانی نیست. محققان با بهره گیری از مدل‌های محاسباتی (رایانه‌ای) و ساختاری این مواد نشان داده‌اند که قرار گرفتن یک اتم تیتانیوم در مرکز ساختار شش گوش اتم‌های کربن (مشخصه هندسی نانولوله‌های کربنی که تکرار می‌شود) موجب می‌شود تا این ماده از ظرفیت ذخیره برگشت پذیر خوب و کافی برخوردار شود. جالب آنکه بر هم‌کنش بین کربن، تیتانیوم و هیدروژن موجب پیدایش نیروهای جاذبه غیر متعارف می‌شود. نتیجه آنکه چهار مولکول هیدروژن به وسیله یک پیوند شیمیایی منحصر به فرد نه چندان محکم به اتم تیتانیوم متصل می‌شوند. در ایجاد پیوند هیدروژنی معکوس در این ترکیب هندسی، نیروهای مختلفی نقش دارند. یافته‌ها حاکی از آن است که یک روش بالقوه برای طراحی بلورها و مواد نانوساختاری نوین با ظرفیت ذخیره هیدروژن بالا وجود دارد.

◊ الکترونیک

محققان ای بی ام (پیشگام تحقیقات فناوری‌نانو) گزارشی در مجله Science منتشر کرده‌اند که به روش های رایانه‌ای نوین در علم و مهندسی نانومقیاس اشاره دارد. آنها به پیشرفت‌هایی در زمینه اندازه گیری ناهمگونی (anisotropy) مغناطیسی تک اتم‌ها دست یافته‌اند و به این ترتیب به توانمندی بالقوه این مواد در ذخیره مغناطیسی اطلاعات در سطح اتمی پی برده‌اند. (هیرجی بهدین و همکاران- ۷-۲) چنین قابلیتی موجب می‌شود تا فضایی که هم اکنون برای حافظه‌های رایانه‌ای مورد نیاز است، به شدت کاهش یابد.



شکل ۳-۵ سوئیچ مولکولی با چارچوب ثابت (IBM، ۳۰ آگوست ۲۰۰۷ این تصویر به صورت آن لاین در آدرس http://www.03.ibm.com/press/usen/presshit/22242.wss موجود است.)

علاوه بر این محققان ای بی ام موفق به توسعه اولین سوئیچ مولکولی شده اند که چارچوب خارجی آن هم حفظ می شود. (لیلجروث، رپ و میر۲۰۰۷)

با توجه به اینکه چارچوب خارجی این مولکول با روشن و خاموش شدن سوئیچ تغییر شکل نمی‌دهد (شکل ۳-۵)، می‌توان از آن به عنوان یک گیت منطقی در مدارهای بزرگتر استفاده نمود.

◊ فناوری پایه

نانولوله‌های کربنی:

اگر چه نانولوله‌های کربنی اولین نانو ماده‌ای نیستند که به مرحله تجاری می‌رسند، اما با استقبال عمومی گسترده ای روبرو شده‌اند و می‌توان آن را مظهر فناوری‌نانو و نمونه بارزی از توسعه‌ای که از طریق همکاری دولت، دانشگاه و صنعت پدید آمده دانست. نانولوله‌ها با توجه به خواص سودمندشان از قبیل مقاومت کششی نمایی، مکانیسم رسانشی منحصر به فرد جریان الکتریسیته و شکل ظرف مانندی که دارند، دارای کاربردهای بالقوه متعددی هستند. هم اکنون این مواد تأثیر تجاری فراوانی بر صنعت الکترونیک و کامپوزیت‌ها داشته و در بخش ذخیره و تبدیل انرژی هم کاربردهای امیدوار کننده‌ای خواهند داشت. در حال حاضر محققان سرگرم بررسی امکان استفاده از آنها در دارورسانی و ژن رسانی در بدن هستند.

اگر چه این نانولوله‌ها بیشتر به واسطه کاربرد شان در مواد کامپوزیتی (کالاهای مصرفی از قبیل سپر ماشین و کالاهای ورزشی) شناخته شده‌اند اما چالش‌هایی که در تولید وجود دارد از قبیل توانایی کنترل یکنواخت و طویل و به هم نچسبیدن آنها، میزان بهبود مشخصه‌های محصول با این مواد را محدود می‌کند. ایجاد مزایای تحول آفرین در مواد کامپوزیتی موجود در بازار، به بهبود شیوه‌های کنترلی تولید بستگی دارد. (اکلوند و همکاران۲۰۰۷)

انواع مختلفی از نانولوله‌های کربنی با قطرهای مختلف، تعداد جداره‌های متفاوت (تک جداره یا چند جداره) دارای عامل‌های افزودنی و ناخالصی وجود دارد. تولید نانولوله‌های کربنی خالص تک جداره (در مقایسه با نانولوله‌های چند جداره ارزان تر) بسیار دشوار و هزینه بر بوده و هنوز بازاری برای آن وجود ندارد. در این زمینه (یعنی قابلیت تولید نانولوله‌های کربنی چند جداره) به ویژه آسیا و ژاپن از آمریکا و اروپا پیش افتاده‌اند. بازار عمده تولید نانولوله‌های چند جداره در حال حاضر به کاربرد آنها در الکترود باتری‌های لیتیومی خلاصه می‌شود، در حالی

که بازار عمده نانولوله‌های تک جداره به ابزارهای نشر میدانی (به عنوان مثال برای کاربرد در میکروسکوپ های نشر میدانی برای انجام مطالعات و بررسی‌های سطوح و ادوات میکروالکترونیک خلاء) اختصاص دارد.

♦ چالش‌های تجاری سازی

با وجود فرصت‌های بسیاری که هم اکنون برای نوآوری و توسعه فناوری‌هایی نظیر آنچه در بالا بیان شد وجود دارد، اما این امر با چالش‌هایی نیز روبرو است. موانع تجاری سازی فناوری‌نانو که در زیر به آنها اشاره می‌شود با در نظر گرفتن کاربردهای بالقوه این فناوری و بسیاری از مواد ناشناخته همراه با ساختارهای متعدد نانومواد بیان شده است. این موانع عبارتند از:

- نبود استانداردها
- ابهام در زمینه آثار جانبی این فناوری بر محیط زیست، بهداشت و ایمنی (EHS) : مخاطرات ناشناخته (در این زمینه می‌توانید به مقالاتی که در قوانین زیست‌محیطی نوشته شده مراجعه نمایید)، توجه بیمه گرها، شواهدی مبنی بر اجتناب شرکت‌ها از به کارگیری واژه نانو در توصیف محصولات خود یا حتی بدتر از همه پنهان کردن تلاش‌هایی است که در زمینه توسعه فناوری‌نانو انجام می‌دهند.
- سرمایه گذاری‌های خطرپذیر محدود: با توجه به آنکه بسیاری از شرکت‌های نوپای نانومواد در مراحل نسبتاً اولیه توسعه قرار داشته و چرخه‌های توسعه در این فناوری طولانی‌تر است (زمان بیشتری برای تبدیل شدن به کاربرد و محصول لازم است) سرمایه گذاران تمایل زیادی به سرمایه گذاری در آن ندارند.
- عدم آموزش کافی و کمبود نیروی کار

دولت مرکزی از نقشی محوری در غلبه بر موانعی که در روند نوآوری فناوری‌نانو و تجاری سازی آن وجود دارد برخوردار است. در این زمینه برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI) وظیفه هماهنگی فعالیت‌های سازمان‌های دولتی در این زمینه را عهده دار است. برنامه NNI مستقیماً از طیف وسیعی از تحقیق و توسعه‌های پایه در این فناوری حمایت کرده و به علاوه به ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاری تجاری بخش خصوصی در برنامه‌های تحقیق و توسعه هدفمندِ کاربرد محور می‌پردازد. همچنین NNI به ایجاد برنامه های آموزشی میان رشته ای و زیرساخت‌های تحقیقی غیر موازی در سطح کشور پرداخته است که این امر موجب سرعت گرفتن روند نوآوری فناوری‌نانو در آمریکا شده و تلاش‌های منطقه‌ای را در این زمینه پایه‌گذاری می‌کند. توسعه‌ی رواج محدود دانش/ مهارت/تخصص در فناوری‌نانو از جمله موانع اساسی در تجاری سازی ایده‌های نوینی است که از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی نشأت می‌گیرد. انتقال مهارت‌ها و ایده‌های نوین فناوری‌نانو از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی به صنعت، عمدتاً هنگامی روی می‌دهد که دانشجویان به استخدام شرکت‌های موجود درآمده و یا خود اقدام به تأسیس شرکت کنند. اهمیت نقش دولت در آموزش و تربیت مهندسان و دانشمندان از طریق سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه امری انکار ناپذیر است. همان گونه که بیان شد در گزارش راهبردی و جدید NNI در دسامبر ۲۰۰۷، هدف این برنامه

ادامه حمایت از انتقال فناوری از طریق ایجاد محیط مطلوب کسب و کار برای توسعه دهندگان فناوری‌نانو است. تحقق این هدف به روش‌های گوناگونی امکان پذیر است. راه کارهای کلیدی در این زمینه عبارتند از: همکاری تنگاتنگ و هماهنگ با صنعت، رعایت حقوق مالکیت معنوی و تعریف مسیرهای روشن‌تر توسعه و بالاخره پرداختن به انتظاراتی که از آن غفلت شده است. سازمان‌های عضو NNI نیز باید برای تسهیل در به اشتراک گذاری اطلاعاتی که در زمینه‌ی رقابت را در سطح ملی و بین المللی فراهم می‌کند، تلاش نمایند؛ که این کار در نهایت به رفع نگرانی‌هایی که در زمینه اثرات ضمنی این فناوری بر محیط زیست، بهداشت و ایمنی (EHS) وجود دارد کمک خواهد کرد.

♦ ۴- اثرات: زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS) و اخلاقی

◊ یافته‌های اصلی:

- دولت مرکزی به شدت در این زمینه فعال بوده و به طور گسترده از طرح‌های مربوط به تبعات مربوط به محیط زیست، بهداشت و ایمنی(EHS) فناوری‌نانو و تحقیق و توسعه آن حمایت کرده و به این منظور سعی دارد تا خود را با صنعت و سهام‌داران بین المللی هماهنگ نماید.
- تولید کنندگان تنها مسئول ایمنی کالا و محیط کار هستند.
- شرکت‌های تولید کننده و استفاده کننده از نانومواد باید اطلاعات لازم درباره خواص نانومواد مورد استفاده در محصولات خود را در اختیار قرار دهند.
- تلقی منفی افکار عمومی نسبت به فناوری‌نانو تهدیدی برای توسعه و منافع اقتصادی اجتماعی بعدی آن است.
- نگرانی‌های اخلاقی اصولاً امروزه خاص فناوری‌نانو نیست و تمامی سهام‌داران در زمینه ارزیابی آثار جانبی اخلاقی، قانونی و اجتماعی ناشی از توسعه علوم و فناوری‌های نوین مسئولیت مشترک دارند.

◊ مباحث زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS)

امروزه محصولات فراوانی در بازار موجودند که با فناوری‌نانو توانمند شده‌اند؛ (مواردی از قبیل کاربردها و ابزارهای پزشکی، الکترونیک و نیز طیف گسترده‌ای از کالاهای مصرفی). آثار فناوری‌نانو قطعاً در آینده افزایش یافته و ابداعات بیشتری که در نتیجه این فناوری پدید می‌آیند در مجموع بر محیط زیست و سلامت بشر تأثیر مثبت داشته باشد.

همانند هر فناوری نوظهور دیگر، توسعه مسئولانه این فناوری و کاربردهای آن وظیفه مشترک و کلی تمام محققان، توسعه‌دهندگان، تولیدکنندگان، قانون‌گذاران و مصرف‌کنندگان است، اما اعمال این اصل در عمل به علت هزینه‌بر بودن چالش بر انگیز است. به‌علاوه پیامدهای جانبی زیست‌محیطی و بهداشتی این فناوری مشخص نیست و یا حداقل شناخت چندانی از آن وجود ندارد. بنابراین NNI باید همچنان به وضعیت مناسب کنونی خود که در جهت پیشگیری و نه احتیاط است ادامه دهد و سازمان‌های عضو آن نیز باید رویکردی فعال در توسعه و ترویج اطلاعات مربوط به مخاطرات ناشی از این فناوری داشته باشند.

سازمان‌های دولتی بر این نکته واقف‌اند که مجهولات زیادی نسبت به آثار احتمالی ناشی از قرار گرفتن در معرض نانومواد وجود دارد. بنابراین به منظور تقویت و رشد روند این اطلاعات مبنایی، NNI و سازمان‌های عضو آن باید: (۱) به سرمایه گذاری راهبردی با اولویت تحقیقات EHS ادامه دهند (۲) فعالیت‌های تعاملی EHS با صنعت و مؤسسات تحقیقاتی دیگر کشورها را همچنان مورد حمایت قرار دهند. NNI با فراهم نمودن زمینه ی

مناسب برای چنین تحقیقاتی، نقش حیاتی در حمایت از سازمان‌های نظارتی خواهد داشت.

هیئت مشورتی NNAP ماهیت و اهداف سرمایه گذاری‌های NNI در تحقیقاتی که به منظور ارزیابی آثار جانبی فناوری نانو بر محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی انجام می‌شود و نیز تحقیقاتی که برای تعریف مسائل اخلاقی، اجتماعی، قانونی و نگرانی‌های مرتبط با تأثیر آن بر نیروی کار نسبت به تحقیق، توسعه و تجاری‌سازی فناوری‌نانو وجود دارد را مورد بررسی قرار داد. برای اطمینان از توسعه مسئولانه فناوری‌نانو و نیز ایجاد توازن مناسب بین مخاطرات و منافع، لازم است تا نظارت دقیق و مستمری در این زمینه وجود داشته باشد. چنین بررسی مستمر و کاملی از آثار جانبی EHS در یک چارچوب مناسب و بر اساس داده‌های ورودی سهامداران موجب توسعه پایدار و فراهم شدن بیشترین درک ممکن از قابلیت‌های فناوری‌نانو می‌شود.

NNAP در بررسی خود، به تعداد رو به رشد مقالات و نشریاتی که نسبت به کافی نبودن تلاش‌های آمریکا در زمینه بررسی آثار جانبی EHS و احتمال بروز مخاطرات غیر قابل قبول هشدار داده‌اند نیز توجه داشته است.

به طور کلی بر اساس این گزارش‌ها کافی نبودن سرمایه گذاری و توجه به نگرانی‌های EHS، خود مشکل عمده‌ای به شمار می‌آید. در این راستا NNAP در بررسی خود توجه ویژه‌ای به سرمایه‌گذاری‌هایی در زمینه EHS و تلاش‌های تحقیقاتی، مرتبط داشته است. به عقیده این گروه در حالی که از نظر علمی هنوز موارد زیادی وجود دارد که باید در این باره فرا گرفته شود، اما تحقیقاتی که در آنها سرمایه‌گذاری می‌شود بیش از همیشه به گسترش بدنه دانش مستقل از موضوعات مربوط به EHS منجر شده است.

همچنین بودجه اختصاص یافته به این تحقیقات نیز افزایش داشته و روند رشد آن به خوبی بالاتر از کل برنامه NNI بوده است. بنابراین اعضای هیئت مشورتی NNAP بر این باورند که با افزایش دانش عملی از این موضوعات، دانش ما از مسائل مرتبط با EHS هم باید به همین نسبت افزایش یابد. همچنین اعضای NNAP به این نکته توجه دارند که اگر هزینه‌های صرف شده در کشورهای دیگر برای موضوعات EHS همتراز آمریکا بود، با توجه به تلاش‌های مستمر و مناسبی که بین کشورهای مختلف وجود دارد، این بخش از منافع بسیاری برخوردار می‌شد.

همچنین پذیرش در آستانه تحول قرار گرفتن فناوری توسط افکار عمومی ممکن است با اظهار نظر برخی نویسندگانی که تصورات نادرستی در این باره رواج داده و موجب ترس مردم می‌شوند، خدشه دار شده و زیر سؤال رود. NNAP نگران از دست رفتن اعتبار این فناوری نزد افکار عمومی است. ارزش فناوری‌نانو برای اقتصاد آمریکا و نقش آن در بهبود واقعی شرایط محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی (EHS) تحت تأثیر نظرات بی موردی است که عدم قطعیت در این زمینه را بزرگ جلوه می‌دهند. از سوی دیگر هنوز آزمایش‌ها و بررسی‌های دقیقی در مورد آثار واقعی قرار گرفتن در معرض نانوذرات و خطرات آنها وجود ندارد تا بر مبنای آن بتوان با این تصورات نادرست مقابله نمود. این نگرانی‌ها موجب شده است تا NNAP در این گزارش توجه زیادی به EHS و فعالیت‌های مرتبط با آن و آثار جانبی آن داشته باشد.

◊ فعالیت‌های دولت مرکزی در محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی فناوری نانو

در سپتامبر ۲۰۰۶ NNI گزارشی با عنوان "نیازهای تحقیقاتی مربوط به محیط‌زیست، بهداشت، ایمنی در حوزه‌ی مواد نانومقیاس مهندسی شده " منتشر نمود. این گزارش با نظارت و حمایت کار گروه آثار جانبی فناوری‌نانو بر سلامت و محیط زیست (NEHI) [۳۲] که وابسته به زیر کمیته NSET (NSTC/NSET ۲۰۰۶) است، تهیه شده بود.

در این گزارش نظرات چندین سازمان دولتی که در تضمین توسعه مسئولانه فناوری‌های نانو نقش دارند آمده است. یکی از وظایف اساسی دولت مرکزی در زمینه تحقیقات فناوری‌نانو طی چند سال آینده، انجام تحقیقاتی است که در این گزارش به آنها اشاره شده است. در گزارش NEHI همچنین راهنمایی‌هایی برای سازمان های دولتی و بخش خصوصی و نیز مؤسسات بین المللی فعال در زمینه تحقیقات فناوری‌نانو مربوط به محیط زیست، بهداشت، ایمنی آمده است.

در آگوست ۲۰۰۷، NNI برای دریافت نظرات بخش دولتی، گزارش پیشرفت کار منتشر کرد که در آن نیازهای تحقیقاتی در رابطه با EHS در اولویت قرار گرفته بود. این اولویت بندی بر دو مبنا قرار داشت: (۱) ارزش اطلاعات (۲) توانایی بهره‌گیری از سایر تحقیقاتی که با سرمایه‌گذاری سایر دولت‌ها و بخش خصوصی انجام شده است.

گزارش‌هایی که NNI تا به امروز منتشر نموده از دیدگاه NNAP اولین گام مهم در تعریف بسیاری از حوزه‌های تحقیقاتی است. این تحقیقات شامل نیازمندی‌های توسعه مسئولانه فناوری‌نانو و نیز اولویت بندی حوزه‌های تحقیقاتی به منظور بهره‌گیری مناسب از منابع تحقیقاتی است.

همچنین داده‌هایی که بر اساس نظرات دولت درباره نیازهای تحقیقاتی NEHI و نیز اسناد مربوط به اولویت‌بندی‌ها و تحلیل دقیق وضعیت جاری تحقیقات فناوری‌نانو دولت فدرال در رابطه با مسائل زیست‌محیطی، بهداشت و ایمنی (EHS) که توسط NEHI تهیه شده است همگی در انتشار گزارش سال ۲۰۰۸ NNI نقش داشته است. در این گزارش که در فوریه ۲۰۰۸ و با عنوان " راهبردهای تحقیقاتی فناوری‌نانو در زمینه‌های مربوط به مسائل مربوط به محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی " (NSTC/NSET۲۰۰۸b) منتشر شده است، راهکاری برای بررسی منظم پیشرفت فناوری‌نانو و نیز ارزیابی مجدد نیازها و اولویت‌های تحقیقاتی مرتبط با پیامدهای زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی فناوری‌نانو ارائه گردیده است. اما با توجه به آنکه انتشار آن نزدیک به زمان روند بررسی جاری NNAP بود، این هیئت (NNAP) تصمیم گرفت تادیدگاه‌های خود را با افزودن ضمیمه‌ای مختصر به آن مطرح نماید.

از آنجا که در گزارش سال ۲۰۰۵ NNAP از NNI خواسته شده بود تا توجه ویژه‌ای نسبت به ارزیابی و تحقیق درباره مسائل EHS داشته باشد، لذا سازمان‌های عضو NNI که مسئول نظارت بر تأثیرات فناوری‌نانو بر سلامت

بشر و محیط زیست هستند، از قبل نیز فعالیت‌هایی در زمینه تأمین اطلاعات مورد نیاز مربوط به تبعات زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS) فناوری‌نانو داشته‌اند. حتی بسیاری از این سازمان‌ها به طور فعال به ارزیابی روش خود در زمینه قانون‌مند کردن و نظارت بر محصولات فناوری‌نانو، تولید آنها و ایمنی کارگاه پرداخته‌اند که در زیر به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود:

- OSTP و شورای کیفیت زیست‌محیطی (CEG) [۳۳] در نوامبر ۲۰۰۷ یادداشتی مختصر ضمیمه این گزارش کرده و در آن بر اساس یک توافق میان مؤسسه‌ای اصولی را برای نظارت بر جنبه‌های زیست محیطی، بهداشتی و ایمنی فناوری‌نانو تعریف نمودند. (OSTP۲۰۰۷)
- مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) [۳۴] در جولای ۲۰۰۶ درخواستی برای دریافت اطلاعات در زمینه "رویکردهای فناوری‌نانوی ایمن (NIOSH۲۰۰۷) اعلام کرد و طی آن از متخصصان صنایع خصوصی و دیگر مؤسسات دولتی خواست تا نظر خود را در این باره اعلام کنند و در نهایت در ژوئن ۲۰۰۷ گزارشی با عنوان "پیشرفت به سوی فناوری‌نانوی ایمن در محیط کار" (NIOSH۲۰۰۷) منتشر نمود.
- سازمان حفاظت محیط زیست (EPA) در فوریه ۲۰۰۷، پیش‌نویس لایحه‌ای را تنظیم نمود (EPA۲۰۰۷) که در آن به خلاصه‌ای از رویکردهای پیش‌بینی شده سازمان در زمینه تحقیقات EHS فناوری‌نانو اشاره شده بود و پس از آن در فوریه ۲۰۰۸ راهبرد تحقیقات فناوری‌نانو را منتشر نمود (EPA۲۰۰۸). این سازمان همچنین یک برنامه نظارتی داوطلبانه در زمینه مواد نانومقیاس راه اندازی کرده است.
- سازمان غذا و دارو (FDA) در جولای ۲۰۰۷ گزارشی از فعالیت‌های خود در حوزه فناوری نانو (Nanotechnology Task Forces Efforts) منتشر نمود تا به این ترتیب تولیدکنندگان محصولات توانمند شده با فناوری‌نانو، مسیری قابل پیش بینی برای کاربرد رویکردهای قانونی موجود و با نظارت آن سازمان به صورت مورد به مورد در اختیار داشته باشند.
- NST مواد مرجع استاندارد برای نانوذرات طلا و نانولوله‌های کربنی تولید کرده است.

این فعالیت‌ها در کنار کارهایی که برای هماهنگی کامل EHS و برنامه ریزی از طریق NEHI انجام می شود بیش از پیش حاکی از رغبت و مشارکت سازمان‌های فدرال مسئول بهداشت و ایمنی عمومی به آگاه نمودن دیگران نسبت به رویکردهای قانونی و توسعه سیاست‌های مرتبط است.

از زمان انتشار آخرین گزارش NNI، کل سرمایه‌گذاری تحقیقاتی در موضوعات EHS از ۳۴/۸ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ به مقدار مورد تقاضای ۷۶/۴ میلیون دلار در سال ۲۰۰۹ در بودجه تحقیق و توسعه درخواستی رئیس جمهور رسیده است. این منبع تنها به تحقیقاتی اختصاص دارد که به طور خاص و عمدتاً با حوزه تمرکز تأثیرات فناوری‌نانو بر محیط‌زیست و بهداشت انجام می‌شوند. در سال ۲۰۰۷ زیر کمیته NSET با هماهنگی اداره مدیریت و بودجه تلاش نمود تا با توجه به پنج دسته اولویت‌های تعریف شده درگزارش سال ۲۰۰۶ NEHI (نیازهای تحقیقاتی برای مواد مهندسی شده نانومقیاس) اعتبار بیشتری را جلب نماید. در این کار نه فقط موضوعات EHS

مستقیماً مورد بررسی قرار گرفتند بلکه درعین حال مواردی از قبیل تحقیق در زمینه ابزار آلات، تحقیق برای شناخت بنیادی رفتار نانومواد مهم و روش‌های مدیریت مخاطرات نیز مورد حمایت قرار گرفته‌اند. با در نظر گرفتن این موارد، مقدار کل سرمایه گذاری سال مالی ۲۰۰۶ که به طور مستقیم و غیر مستقیم به مسائل EHS مربوط می‌شود در مقایسه با ۳۷/۷ میلیون دلار هزینه‌های تحقیقاتی اولیه‌ای که برای EHS اختصاص یافته بود به ۶۸ میلیون دلار می‌رسد. اگر چه دستیابی به داده‌ها برای گزارش‌های منظم دوره‌ای عملی نیست اما با این حال، می‌تواند تا حدود زیادی نشانگر سرمایه گذاری‌های دولت مرکزی در تحقیقات مرتبط با مسائل EHS باشد.

به اعتقاد NNAP این مقدار تحقیق اگر چه مناسب است اما در عین حال توصیه می شود که سطح سرمایه‌گذاری‌ها در این بخش همچنان متناسب با نیازها و رویکردهای تعریف شده در راهبرد تحقیقاتی NNI برای EHS فناوری‌نانو و نیز ظرفیت در دسترس برای تحقیق کیفی افزایش یابد.

در حالی که دولت فدرال نظارت منظم و مناسبی در این زمینه دارد اما تولیدکنندگان هم نسبت به کالای تولیدی و ایمنی محیط کار مسئولیت دارند. بنابراین شرکت‌هایی که در زمینه تولید نانومواد فعالیت داشته و یا از این مواد استفاده می‌کنند نیز باید در توسعه اطلاعات درباره خواص محصولات خود مشارکت نمایند. همان طور که در گزارش سال ۲۰۰۵ NNAP هم آمده است، در محل تولید، بیش از همه احتمال قرار گرفتن در معرض نانوذرات وجود دارد و در حال حاضر از این بابت خطر چندانی متوجه مصرف کنندگان و محیط زیست نیست. NIOSH در این باره منابع متعددی را در وب سایت خود به آدرس زیر قرار داده است:

http://www.Cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html

که دو گزارش مورد اشاره در بالا هم که به روش‌های ایمن کار کردن با نانومواد در محیط کار پرداخته بود، از آن جمله است.

اگر چه در بخش‌های بعد به طور جداگانه به تحقیقاتی که با حمایت NNI و در زمینه تأثیرات زیست‌محیطی، و نگرانی‌های مربوط به سلامت وایمنی فناوری‌نانو (EHS) پرداخته خواهد شد، اما قبل از آن باید مفهوم EHS به خوبی فهمیده شود تا بتوان مخاطرات مربوط به آن را به خوبی و به طور مناسب ارزیابی نمود. اغلب حوزه های EHS با هم ارتباط درونی دارند. مسائل زیست‌محیطی می‌تواند بر سلامت بشر و دیگر موجودات زنده تأثیر بگذارد. نگرانی‌ها و ملاحظات ایمنی این نانومواد نیز می‌تواند بر سلامت اثر داشته باشد. لذا در این گزارش، موضوعات زیست‌محیطی که مستقیماً بر محیط زیست تأثیر می‌گذارند مورد بحث قرارگرفته است. این موضوعات شامل مسائلی است که مستقیماً به بهبود سلامت بشر مربوط می‌شوند، اگرچه کاربرد آنها ممکن است تبعات ناخواسته‌ای هم به دنبال داشته باشد. همچنین در موضوعات ایمنی فناوری‌نانو تبعات احتمالی ناشی از قرار گرفتن در معرض نانومواد در محیط کار و هر محیط دیگری که این نانومواد ممکن است تأثیر زیانباری بر کاربران و کسانی که با آن فعالیت خاص در ارتباط هستند داشته باشد، مورد بحث قرار می‌گیرد.

همان طور که قبلاً هم بیان شد، تحقیقات EHS انجام شده با حمایت دولت مرکزی (فدرال) نه تنها باید با

وضعیت تحقیقاتی EHS فناوری‌نانو امروز و آینده

مؤسسات تحقیقاتی ملی و بین المللی زیادی هم اکنون در زمینه آثار جانبی فناوری‌نانو فعالیت دارند و تعداد آنها رو به رشد است که روند این رشد مطابق با نرخ رشد حمایت‌های دولت فدرال در این زمینه است. به عنوان مثال، در تحقیقی که اخیراً شورای بین‌المللی مجلات فناوری‌نانو در زمینه EHS (پایگاه داده‌ای که نمود انتشارات جهانی است) انجام داده است، معلوم شده که از سال ۲۰۰۳ تا کنون بیش از ۱۰۰۰ عنوان مقاله و گزارش علمی و مقالات دیگر در این زمینه منتشر شده است (http: //www. icon. vice. Pdu. vitrualjournal. lfm)

به علاوه سازمان‌های دولتی، شرکت‌ها و تعداد زیادی از مؤسسات غیر دولتی هم اکنون به انجام تحقیقات گسترده هدفمند در این زمینه پرداخته‌اند. یکی از این مؤسسات، کار گروه محیط زیست است که در مطالعه خود بیش از ۹۰۰ نوع کرم ضد آفتاب را به لحاظ کارآیی و سم شناسی مواد به کار رفته در آنها مورد بررسی قرار داد. (EWG ۲۰۰۷ b) با تلاش‌های هدفمندی از این قبیل، به خوبی می‌توان به ارزیابی نانومواد به کار رفته در محصولات مختلف و چرخه عمر آنها پرداخته و تحقیقات بنیادی و تعیین مشخصات پایه (Baseline Characterilation) نانومواد را کامل نمود. با این حال تحقیقات راهبردی و رو به رشد فناوری‌نانو در مسائل EHS باید با در نظر گرفتن موارد زیر انجام شود:

۱) مجموعه کاملی از اولویت‌ها و نیازمندی‌های علمی مشخص بجای درصد دلخواه میزان سرمایه گذاری

۲) وجود روش‌ها و مجموعه‌های داده‌ای استاندارد برای تعیین مشخصات نانومواد به منظور ایجاد تحقیقات قابل تکرار و پیشرو.

به عنوان مثال در بررسی اخیری که بر روی بیش از ۴۰۰ نشریه انجام شده مشخص گردید که عمده‌ی مطالعات به حد کافی به تعیین مشخصات نانومواد در دست بررسی نمی‌پردازند و لذا تعیین خواص خطرناک این مواد به واقع امکان پذیر نخواهد شد[هانسن و همکاران ۲۰۰۷]. در صورت نبودن راهنما و تحلیل هایی در زمینه موادی که از استانداردهای مناسب برخوردار باشد، تحقیقات فناوری‌نانو در زمینه EHS پیشرفت نخواهد داشت و افزایش سرمایه گذاری‌های دلخواه تنها موجب ابهام بیشتر در این زمینه می‌گردد. (در واقع به جای هشتاد بررسی و مطالعه غیر قابل تکرار و غیر قابل مقایسه که در مورد انواع مختلف نانولوله‌های کربنی انجام شده، با اعمال این روش‌ها می‌توانستیم ۸۰۰ مورد تحقیق داشته باشیم) به علاوه این کار مانع از انجام تحقیقات ضروری و مرتبط که تنها در صورت وجود تحقیقات روشن، استاندارد، قابل تکرار و قابل مقایسه در زمینه تعیین مشخصات موادی که در کاربردهای ویژه و مرتبط مورد استفاده هستند، می‌گردد.

صنایع آمریکا و ایالت‌های مختلف بلکه باید با جامعه بین الملل هماهنگ باشند. توصیه NNAP به NNI مشارکت در زمینه EHS و OECD وهمکاری با دیگر مؤسسات و سازمان‌های بین‌المللی است.

◊ محیط زیست

وجود مواد نانومقیاس در محیط زیست پدیده‌ی تازه‌ای نیست. در واقع مواد نانومقیاس به طور طبیعی وجود دارند، با این حال با توسعه مواد نانومقیاس مهندسی شده این مواد ممکن است تأثیرات زیست‌محیطی بالقوه و منحصر به فردی داشته باشند. در این زمینه و برای توسعه آزمایش‌هایی که بتواند به ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی مواد نانومقیاس بپردازد دولت فدرال و برنامه پیشگامی ملی فناوری‌نانو (NNI) از نقش مهمی برخوردار هستند. در بسیاری از موارد معلوم نیست که آیا قوانین موجود در این زمینه کافی هستند یا خیر؟ اگر چه برای شروع چاره ای به جز اعمال همین قوانین نیست. هم اکنون NNI تلاش می‌کند تا با سایر ذینفعان در این عرصه (بخش های صنعتی، دانشگاهی، پیشگامان بین‌المللی از قبیل کار گروه OECD که در زمینه تولید نانومواد فعالیت دارد) همکاری مشترکی را آغاز کرده و در زمینه مسئولیت سنگین توسعه آزمایش‌های تحلیلی و روش های ارزیابی مخاطرات فناوری‌نانو و اطمینان از پذیرش جهانی این آزمایش‌ها، با آنها شریک باشد. با ورود نانومواد جدید به بازار محصولات، وظیفه اساسی توسعه دهندگان صنعتی این محصولات است که مطالعات مناسب و مرتبط را برای

اطمینان از بی‌خطر بودن آنها برای محیط زیست انجام دهند. البته این مطالعات باید با توجه به یافته ها و ارزیابی‌های علمی مرتبط با فواید و مخاطرات نانومواد انجام گیرد.

با این حال بسیار شنیده می‌شود که برخی بر این باورند که تعیین مشخصات مواد آزمایشی همیشه نمی تواند کاملاً و به خوبی ما را به درک مبانی یا اساس پدیده‌های مشاهده شده برساند. در مقیاس نانو تفاوت زیادی بین خواص شیمیایی موادی که تصور می‌شود پایه مشترکی دارند، وجود دارد که به شکل، هزینه و دیگر مشخصات آنها بستگی دارد. به عنوان مثال هر چه ذرات کوچکتر می‌شوند و نسبت مساحت سطح به جرم آنها بیشتر می‌شود نقش شیمی سطح در پدیده‌های مشاهده شده نیز بیشتر می‌گردد. با این حال باید مسئله آلاینده‌های سطحی که معمولاً از آن غفلت می‌شود را نیز در نظر داشت؛ زیرا یک پدیده مشاهده شده ممکن است ناشی از ناخالصی‌های موجود و نه مواد مورد ارزیابی باشد. در واقع می‌توان گفت NNI تنها موردی است که در زمینه افزایش آگاهی نسبت به لزوم تعیین مشخصات فیزیکی نانومواد تأثیر گذار است و این کار را از طریق مشارکت با سازمان هایی مانند FDA ، EPA، NIST و نیز همکاری‌های بین المللی انجام می‌دهد.

◊ سلامت

کاربرد فناوری‌نانو در حفظ سلامتی و بهبود آن یکی از نوید بخش‌ترین حوزه‌های کاربردی این فناوری است. هم اکنون بخش عمده‌ای از تحقیقاتی که در زمینه نانومواد انجام می‌شود به توسعه داروها و ابزارهای پزشکی جدید یا بهبود روش‌های نگهداری مواد غذایی اختصاص دارد. در واقع این عرصه زمینه‌ای پر هیجان است و طبق برخی از تحقیقات انجام شده روش‌های درمانی نانومقیاس فواید بیشتری نسبت به روش‌های مشابه مرسوم داشته و حتی در برخی موارد هدف‌گیری بهتر و عوارض جانبی کمتری داشته است (برای نمونه به مثال‌هایی که قبلاً در بخش ۳، قسمت کاربردها بیان شد، مراجعه نمایید). روشن است که این فواید اگر به طور کامل محقق شود ارزش اجتماعی زیادی خواهند داشت. اما از آنجا که نانومواد به شکل گسترده و فعال در محصولات بهداشتی و زیست پزشکی به کار می‌روند و ادعاهای تجاری مبنی بر عملکرد بهبود یافته این کالاها با توجه به مواد جدیدی که در آنها به کار رفته گسترش می‌یابد، سازمان غذا و دارو باید با قوانین خود مراقب این وضعیت بوده و فعالانه به ارزیابی و تأیید کاربرد محصولات محتوی نانومواد بپردازد. ذرات کلوئیدی طلا و نانوذرات روکش شده با طلا در درمان سرطان تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است.

همه ساله هزاران نفر لگن، زانو یا دیگر استخوان‌های مصنوعی، استنت ها، دریچه‌های مصنوعی قلب و قطعات کاشتنی پزشکی بسیار زیاد دیگری را دریافت می‌کنند. تحقیق و توسعه به منظور بهبود عملکرد و کاهش بیشتر مخاطرات همراه با موارد فوق و با استفاده از نانومواد به سرعت ادامه دارد. مکانیزم‌های نوین دریافت ابزارهای کاشتنی جدید موجب بروز نگرانی‌های به‌جا نسبت به تأثیر دراز مدت نانومواد در بدن شده است. NNI مطالعاتی برای تشخیص آثار زیان‌بارآغاز نموده و باید با هدفمندی بیشتری داروها و ابزارهای توانمند شده با فناوری‌نانو را

مورد مطالعه قرار دهد. NNI همراه با سازمان‌هایی از قبیل FDA و USDA به‌طور فزاینده‌ای این هدف را دنبال می‌کنند و سعی دارند تا نقش محصولات مبتنی بر فناوری‌نانو در بهداشت و غذا را توسعه دهند. لذا در حال حاضر هیچ شاهدی مبنی بر آثار منفی این محصولات بر سلامت بشر وجود ندارد، اما با این حال با توجه به رشد و ادامه یافتن کاربرد این مواد آزمایش‌های مربوط به تأیید این محصولات ضرورت داشته و باید با جدیت ادامه یابد.

◊ ایمنی

همان‌طور که در گزارش سال ۲۰۰۵ NNAP آمده بود، بیشترین نگرانی نسبت به وجود نانومواد و ایمنی آنها مربوط به محیط‌های کاری است که محصولات مبتنی‌بر فناوری‌نانو در آن تولید می‌شوند. توسعه اطلاعات و برقراری ارتباط در زمینه تأثیرات بالقوه نانومواد بر سلامتی و به حداقل رساندن قرارگرفتن ناخواسته کارگران و کاربران نانومواد در معرض آنها از اهمیتی حیاتی برخوردار است. همان‌طور که در بالا اشاره شد NIOSH در زمینه ارزیابی عوامل مربوط به محیط کار نانومواد بسیار فعال است و برنامه قاطعی برای تحقیق در زمینه این نانومواد در دست اجرا دارد. در این بررسی اطلاعاتی درباره کارگاه‌های موجود به همراه راهنمایی برای کارگران و کارکنان تهیه خواهد شد و نتایج آن از طریق وب سایت این مؤسسه در دسترس متقاضیان قرار می‌گیرد. (نگاه کنید به رویکردهای فناوری‌نانو ایمن) (http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano)

با این کار، مؤسسه فوق به کاهش میزان قرار گرفتن در معرض نانومواد در خط تولیدهای موجود کمک می‌نماید. برنامه سازمان حفاظت محیط زیست در زمینه مواد نانومقیاس (http://www.epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm) به ترغیب بخش صنعتی برای در اختیار گذاشتن داوطلبانه داده‌های خود می‌تواند در ایمنی این نانومواد تأثیر داشته باشد. این شرکت‌ها در عین اینکه ملزم به فاش نمودن اطلاعات سری خود نیستند اما باید به طور منظم و در صورت امکان داده‌های مربوطه را منتشر نموده و در تعیین بهترین فعالیت‌های انجام شده در این زمینه سهیم باشند.

◊ اخلاق

توسعه فناوری‌نانو و گسترش محصولات آن در بازار مصرف به طور طبیعی با نگرانی‌هایی نسبت به تبعات قانونی، اخلاقی و اجتماعی آن (ELSI) همراه بوده است. در ادامه به نمونه‌ای از یافته‌هایی که در مقالات علمی که اخیراً نوشته شده است و در آنها به تعریف و ارزیابی فوائد اجتماعی فناوری‌نانو پرداخته شده، اشاره می‌کنیم.

- داروهای جدید با مقدار ماده کمتر و هزینه تولید پایین تر می‌تواند در دسترس تعداد زیادتری از بیماران قرار گیرد.
- کاربرد مواد نانومقیاس در اصلاح محیط زیست: کار در محیط‌های با بیشترین نیاز و دارای معایب اقتصادی فراوان را تسهیل می‌کند.
- روش‌های برتر تولید انرژی از طریق کاربرد نانومواد امکان پذیر است. این مزیت ناشی از کاربرد

کاتالیزورهای فعال تر در تصفیه نفت یا الکترودهای بهبود یافته باتری‌ها است که همگی با افزودن نانومـواد به دست آمده‌اند.

- بهبود بازدهی روش‌های تولید به اتلاف کمتر منجر می‌شود.

در همین زمان، مسائل اخلاقی تعریف شده در بطن کاربردهای فناوری‌نانو حوزه بحث انگیز رو به رشـدی را تشکیل می‌دهد. علاوه بر مسائل ایمنی فناوری‌نانو- چه به لحاظ سلامت انسان و چه به لحاظ زیست مـحـیـطـی- برخی می‌پرسند "آیا کاربردهای فناوری‌نانو می‌تواند با ملاحظات اخلاقی دقیق هم تطبیق داشته باشد؟" به عـنـوان مثال بسیاری از ابهاماتی که در زمینه اخلاق زیستی و با در نظر گرفتن فواید و کاربردهای آن پدید آمـده اسـت، ممکن است در نهایت به چیزی فراتر از کاربرد دارو در بهبود عملکرد مربوط باشد و مفاهیمی اساسی کـه تصـور می‌شود انسانی هستند را به چالش بکشد.

همان‌گونه که قبلاً هم در این گزارش بیان شد، این نگرانی‌ها از بسیاری جهات با نگرانی‌هایی که در مورد هـر فناوری نوظهوری وجود دارد مشترک است و معلوم نیست که این نگرانی‌ها فقط منحصر به فناوری‌نانو هستند یا به احتمال زیاد به هر فناوری جدیدی که به زندگی روزمره ما راه می‌یابد، هم مربوط می‌شود.

برای پاسخ به این سوالات NNI تحقیقاتی را در این زمینه و به ویژه از طریـق مـراکـز NNI/NSF کـه در دانشگاه‌های سطح کشور برای موضوع " فناوری‌نانو و جامعه " دایر شده‌اند انجام داده است. به علاوه NNAP هم هنگام انجام این بررسی از یافته‌های شورای اخلاق زیستی ریاست جمهوری (که خود مطالعه مستقلی در این زمینه انجام داده و خلاصه‌ای از بررسی‌ها و نظریات خود در این باره را منتشر نموده است[۳۵]) و سایر متخصصان رشـتـه اخلاق استفاده نموده است. موضوعات اخلاقی متنوعی وجود دارند که در بین فناوری‌های نوظهور مشترک بوده و می‌توانند موضوع تحقیق بیشتر قرار گیرند. از بین این موضوعات فراوان به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

توسعه کدهایی راهنما برای فناوری‌های نوظهور، مخاطراتی که مردم را به حاشیه می‌راند، بحث درباره داروها بر اساس افزایش تقاضا، آگاهی از موضوعات مرتبط با حریم خصوصی بوجود آمده با استفاده از نانـوحسـگـرهـا، موضوعات محرمانه، سیاست‌های مرتبط با فناوری‌نانو برای کشورهای در حال توسعه و موضوعات بسیار دیگر.

ارزیابی NNAP (با توجه به داده‌های به دست آمده از nTAG و شورای اخلاق زیستی ریاست جـمـهـوری و صاحب نظران مختلف) آن است که امروز هیچ نگرانی منحصر به فردی خاص فناوری‌نانو وجود ندارد. البـتـه نـه به‌معنای آنکه بگوییم فناوری‌نانو نیاز به ارزیابی‌های دقیق اخلاقی ندارد؛ بلکه همانند هر توسعه علمی و فـنـاوری، تمام افراد سهیم در این زمینه مسئولیت مشترکی در قبال ارزیابی دقیق تأثیرات ضمنی اخلاقی، اجتماعی و قانـونـی ناشی از توسعه آن دارند. با این حال NNAP با مشاوره شورای اخلاق زیستی ریاست جمهوری، در حال حـاضـر هیچ نیاز آشکاری به ایجاد دوباره اصول بنیادی اخلاقی یا رشته‌های جدید یا توسعه رویکردهای نوین به مـنـظـور ارزیابی تأثیرات اجتماعی فناوری‌نانو نمی‌بیند.

◊ مدیریت و هماهنگی تحقیقات مرتبط با آثار جانبی فناوری‌نانو

NNAP نسبت به میزان هماهنگی موجود میان سازمان‌های مختلف که از طریق NNI صورت می‌گیرد ابراز رضایت می‌کند. توان بالای رویکرد عمومی میان سازمان NNI در آن است که این برنامه پیشگامی توانسته است تخصص‌های گسترده‌ای که در سازمان‌های مختلف وجود دارد را با موفقیت در کنار هم و سازگار با اهداف و مأموریت‌های هر مؤسسه در کنار هم قرار دهد. به عنوان مثال ارزیابی‌های دولت فدرال از مخاطرات ناشی از گاز اگزوز و دیگر مواد فرعی، موجب طرح برنامه‌ای برای بررسی چگونگی ارزیابی نانومواد مهندسی شده گردید. این کار در واقع بر خلاف تصور ایجاد یک ساختار مدیریتی متمرکز بالا به پایین است زیرا چنان روش مدیریتی موجب دوباره کاری و بدتر از آن حذف مشارکت سازمان‌های کلیدی فعال در این زمینه می‌شود.

هیئت متخصصان NNAP انتظار دارند که طرح‌های تحقیقاتی کنونی NNI در زمینه بررسی مسائل EHS، آموزشی و ابعاد اجتماعی فناوری‌نانو و نیز روند هماهنگ‌سازی که تحت نظارت زیر کمیته NSET و به سرپرستی NNCO انجام می‌شود، همچنان به عنوان راهنمای راهبردی تحقیقات مرتبط با EHS فناوری نانو در سطح سازمان‌های عضو NNI ادامه یابد. در حالی که هنوز مطالب زیادی در این باره هست که باید فرا گرفته شوند، اما این روند قطعاً دچار وقفه نخواهد شد. در واقع روند هماهنگی به کار رفته در NNCO و روند مشابه مورد استفاده در مدیریت برنامه تحقیق و توسعه فناوری‌نانو اطلاعات و شبکه (NITRD)[۳۶] را می‌توان مدلهای خوبی برای ایجاد هماهنگی‌های مشابه در رشته‌هایی از قبیل آموزش K–۱۲ (که در آن هزینه صدها برنامه بدون هیچ مکانیسم رسمی در بین سازمان‌های زیادی توزیع می‌شود و به موجب آن سازمان‌های هزینه کننده باید از فعالیت‌های انجام شده در گروه‌های دولتی مشابه خود مطلع باشند) دانست. NNAP منتظر گزارش تحلیلی راهبرد نهایی تحقیقات مربوط حوزه محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی و نیز چگونگی هماهنگی میان سازمانی برای تحقق عملی آن است تا آن را ضمیمه این گزارش نماید.

۵- توصیه‌ها: حفظ پیشگامی از طریق هماهنگی، راهبرد، ارتباطات

فناوری‌نانو از بسیاری جهات عصر جدیدی از تحقیق، توسعه و تجاری‌سازی به شمار می‌آید. این رشته یکی از فناوری‌هایی است که دارای پایه گسترده‌ای است و آمریکا تا کنون در تحقیقات این حوزه (و نیز هر کجا که توسعه و کاربردهای تجاری آن از ابتدا و به‌روشنی به‌عنوان اهداف ضروری تعریف شده باشند) پیشگام بوده است. این پیشگامی عمدتاً به دلیل هماهنگی رسمی و اولویت بندی‌های NNI است که موجب شده تا آمریکا به این موقعیت دست پیدا کرده و همچنان پیشگام فناوری‌نانو در جهان باشد. با این حال، فناوری‌نانو یکی از اولین زمینه‌هایی است که سرمایه گذاری کشورهای اروپایی و آسیایی در آن با سرمایه گذاری‌های آمریکا در مراحل اولیه توسعه این فناوری برابری می‌کند. فناوری‌نانو یکی از انگیزه‌های اصلی همکاری‌های بین رشته‌ای است و روز به روز برای کلیه تحقیق و توسعه‌های علمی ضروری‌تر می‌شود. همچنین فناوری‌نانو هنوز به عنوان یک فرصت مجزا و متمایز در تاریخ نوآوری‌ها به شمار می‌رود؛ زیرا می‌توان آن را بوسیله‌ی سیاست‌های قوی و مؤثر پیش‌فعال از ابتدای توسعه آن به‌دست آورد. این سیاست‌ها راهنمای تحقیق و توسعه‌های دولتی و خصوصی و نوآوری‌هایی در طیف وسیعی از مواد و کالاهای با کاربرد تجاری بوده است. در مجموع، اعضای NNAP بر این باورند که NNI به خوبی سازمان یافته و به خوبی هم مدیریت می‌شود. زیر کمیته NSET (تحت حمایت اداره هماهنگی سرمایه‌های میان سازمانی) (NNCO) به شکل مؤثرتری به هماهنگی فعالیت‌های فناوری‌نانو در سطح دولت فدرال پرداخته است و در عین حال به سازمان‌ها این امکان را داده تا تلاش‌هایی را که با هدف حمایت از اهداف سازمانی خود دنبال می‌کنند را نیز به نتیجه برسانند. هیئت PNNA بر این باور است که هشت حوزه برنامه‌ای NNI (که در حال حاضر در قالب برنامه راهبردی NNI برای رصد حوزه‌های سرمایه گذاری در نظر گرفته شده اند) به درستی تعیین شده و این دسته‌ها برای ارزیابی و مدیریت این برنامه کافی هستند. NNAP به این نکته نیز توجه دارد که ارزیابی مثبت کلی نسبت به NNI با آنچه به وسیله سازمان‌های برنامه‌ریزی و مشورتی در کشورهای دیگر بر مبنای تعداد برنامه‌های فناوری‌نانو در سطح جهان وجود دارد و پس از مدل NNI ایجاد شده‌اند، سازگار است. آکادمی‌های ملی نیز همانند NNAP مسئولیت نظارت بر NNI را دارند. اعضای NNAP بر این باورند که تلاش‌های نظارتی باید با زمان‌بندی مناسب و هماهنگی بیشتر با برنامه زمانی NNI انجام شود (به عبارت دیگر هر دو بررسی بایستی هر سه سال یکبار و پس از بازنگری برنامه راهبردی انجام شوند) تا به این ترتیب از هم‌پوشانی اجتناب شده و نتیجه بهتری از هر دو گزارش به‌ویژه بر حسب افزایش سطح آگاهی عمومی از فعالیت آنها و سازمان‌های NNI به دست آید.

هماهنگی زمانی بهتر موجب افزایش کارآمدی و هدفمندی هر دو گروه تخصصی می‌شوند. اعضای NNAP بر این باورند که پیشگامی آمریکا در فناوری‌نانو تا حد زیادی به چارچوب رسمی برنامه ملی پیشگامی فناوری‌نانو (NNI) بستگی دارد. با این حال به منظور اطمینان حفظ وضعیت رقابتی، NNAP موارد زیر را برای بهبود و تقویت

بیشتر NNI توصیه می‌کند.

◊ ۱. زیرساخت‌ها، مدیریت و هماهنگی

حفظ زیرساخت‌های تحقیق و توسعه در سطح جهانی و هماهنگی میان بخشی که تحت نظارت NNI ایجاد می‌شود، برای دستیابی به فوائد اجتماعی گسترده از فناوری‌نانو ضروری است.

۱-۱. اطمینان از ادامه یافتن حمایت سازمان‌های عضو NNI و کنگره از مراکز چند رشته‌ای NNI، شبکه‌ها و تجهیزات تحقیقاتی نانومقیاس .

زیرساخت‌های NNI در زمینه تجهیزات مورد استفاده کاربران، مراکز و شبکه‌های آن منابعی غیرموازی برای جامعه تحقیق و توسعه این فناوری هستند که برای حفظ و ادامه کار خود نیازمند سرمایه‌گذاری کافی هستند. از این رو DOE، NSF، NIH و NISI باید نسبت به ایجاد چنین مراکزی به منظور فراهم نمودن حمایت بی‌وقفه و فراوان خود از این بخش‌های ضروری و ارزشمند تلاش نمایند. به ویژه NSF و NIH باید به سرمایه گذاری در ایجاد مراکز بزرگ و گروه‌های تحقیقاتی مشترک با رویکرد چند رشته‌ای که برای پیشرفت در تحقیقات پایه فناوری‌نانو ضروی است، اقدام نمایند. به دلیل وجود تحقیقات چند رشته‌ای بسیاری از کاربردها از همگرایی تحقیقات فناوری‌ها و رشته‌هایی که سابقاً از هم جدا بوده‌اند حاصل می‌شود به همین دلیل NNI باید همچنان به حمایت از محققانی که با رویکرد آکادمیک به این فناوری می‌پردازند و نیز محققانی که با رویکرد توسعه به تحقیق این فناوری می‌پردازند و نیز ایجاد تعامل بین آنها ادامه دهد.

۱-۲. تلاش برای هماهنگی بین سازمانی

با توجه دور نمای عرصه تأثیرات فناوری‌نانو، توصیه NNAP آن است که هر وزارتخانه و سازمان با بخش‌های عملی متعدد که همگی تحت تأثیر فناوری‌نانو قرار دارند (شامل DoC، DoD، EPA، HHS و USDA) کارگروهی مشترک و یا مکانیزم‌های مشابهی را برای هماهنگی و بهینه‌سازی فعالیت‌ها و سیاست‌گذاری‌ها ایجاد نمایند، به طوری که این مکانیزم‌ها، یکنواختی بیشتری را درون سازمان به عنوان پیکره واحد ایجاد نمایند. در جایی که چنین گروه‌هایی وجود داشته باشند باید در تمام سطوح از آنها حمایت شده و درون سازمان آنها را چه به صورت عمودی و چه افقی تقویت نمود. کارگروه مربوط به فناوری‌نانو سازمان دارو و غذا که متشکل از نمایندگانی از هر کدام از مراکز وابسته خود است، یک نمونه قابل توجه در این زمینه به شمار می‌آید. گروههای میان سازمانی که باید دارای متخصصان سیاست‌گذار، ارتباطات و بودجه باشند به تسریع ارتباطات بهبود یافته داخل این سازمان ها در سطح دولت فدرال و نیز ارتباط با ذینفعان بیرون از سازمان و مشتریان سازمان کمک خواهند کرد.

۱-۳. تقویت مشارکت در NNI به وسیله DoC (به غیر از NIST)، DoED و DoL

به ترتیب با توجه به مأموریت‌های اداری هر کدام آموزش میان رشته‌ای، آموزش با پایه گسترده، فراهم آوردن نیروی کار، ارزیابی و برآورد بازار و توسعه استانداردها از جمله چالش‌های اساسی برای فناوری‌نانو بوده و دولت آمریکا برای دستیابی به فوائد اقتصادی- اجتماعی تحقیقات فناوری‌نانو، توسعه و تجاری‌سازی آن باید ضرورتاً به

آنها توجه داشته باشد. این نیازمندی‌ها مستلزم مشارکت بیشتر سازمان‌ها در NNI به میزانی بیش از آن چه امروزه وجود دارد، است.

۱-۴. زیرکمیته هماهنگی NSET و فعالیت‌های کار گروهی گسترده‌تر همراه با کارگروه‌های درون سازمانی NSTC مرتبط، به‌ویژه کارگروه میان سازمانی تحقیق و توسعه تولید که نانو تولید را به عنوان یک حوزه فرصت مناسب می‌شناسد.

۱-۵.ادامه فعالیت‌ها به‌عنوان ساختار هماهنگ مرکزی برای تحقیق و توسعه در حوزه فناوری‌نانو- شامل تحقیقات مربوط به محیط زیست، سلامت و ایمنی فناوری‌نانو

زیرکمیته NSET، کار گروه‌های آن وNNCO همگی باید به عنوان جایگاه هماهنگی تمام فعالیت‌های مربوط به فناوری‌نانو قرار گیرند. همچنین کنگره تا حدی که به این موضوعات مربوط می‌شود باید از هماهنگی میان سازمانی و ساختار مدیریتی NNI از طریق زیرکمیته NSET و NNCO حمایت نماید.

◊ ۲. توسعه استانداردها

پیشرفت گسترهٔ تحقیق و توسعه‌ای که با حمایت NNI انجام می‌شود به طور اساسی به توسعه و تحقق استانداردهایی برای تعریف، تعیین مشخصات و ارزیابی مخاطرات نانومواد بستگی دارد.

۲-۱- مشارکت در توسعه استانداردهای داوطلبانه مورد توافق که برای تحقیق، تجاری سازی و کاربری فناوری‌نانو ضروری است. سازمان‌های NNI هر کدام به طور جداگانه و یا همراه با یکدیگر از طریق NNCO باید از فعالیت‌های مربوط به توسعه استانداردها حمایت نمایند. به‌ویژه NNI باید از مشارکت آمریکا در سازمان های بین‌المللی استانداردها از قبیل سازمان بین‌المللی استانداردها (ISO) حمایت نماید. NNI از طریق مشارکت سازمان‌های فدرال باید از دوباره کاری در توسعه استانداردها در سازمان‌هایی که حوزه فعالیت مشترک دارند، جلوگیری کند.

۲-۲- توسعه استاندارهای مواد درتحقیقات فناوری‌نانو مرتبط با محیط‌زیست، سلامت و ایمنی وجود چنین استانداردهایی برای تعیین مشخصات و پایش تأثیرات نانومواد ضروری است. NIST بایستی در فعالیت های توسعه‌ای، چه از طریق مشورت و چه از طریق همکاری با سازمان‌هایی که از این استانداردها استفاده می‌کنند (از قبیل EPA و FDA) پیشگام باشد. حوزه تمرکز اولیه در این زمینه باید به نانومواد اختصاص یابد که در حال رسیدن و یا حرکت به سمت کاربردهای تجاری گسترده هستند (موادی از قبیل طلا و نقره نانومقیاس، اکسیدهای فلزی، نانولوله‌های کربنی و مواد دیگری از قبیل آنچه در فهرست چهل نانو ماده پرکاربرد تعریف شده توسط OCD وجود دارد) .

۲-۳- تلاش در راستای توسعه حداقل مجموعه داده‌های مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی نانومواد. ایجاد حداقل مجموعه داده‌ها برای تحقیق در زمینه نانومواد در صورتی که به درستی تعریف شده باشد تضمین کننده ارتباط دقیق نتایج تحقیقاتی و خواص محصول است.

این کار همچنین امکان مقایسه و تکرار آزمایشات مرتبط با محیط‌زیست، سلامت و ایمنی را فراهم می کند. وجود چنین امری برای اطمینان از اینکه ارزیابی‌های انجام شده معنادار هستند و برآوردهای مربوط به تأثیرات بالقوه فناوری‌نانو مرتبط با محیط زیست، سلامت و ایمنی دقیق هستند، ضروری است. NIST باید نقش پیشگامانه در هماهنگی این تلاش‌ها در بین سازمان‌های عضو NNI داشته باشد.

◊ ۳. - تجاری‌سازی و انتقال فناوری

حرکت نوآوری‌های فناوری‌نانو به سمت تجاری‌سازی، به حفظ و تقویت همکاری مشترک و متقابل بخش های مرتبط از جمله فعالیت‌های مشترک حوزه‌های توسعه‌ی فناوری و توسعه‌ی کسب و کار بستگی دارد.

۳-۱ توسعه‌ی تلاش‌ها برای ارزیابی نوآوری‌های ملی و بین‌المللی و فعالیت‌های تجاری‌سازی

NNAP فعالیت‌های جاری و تلاش‌هایی که در این زمینه انجام می‌شود را تأیید می‌کند؛ اما در عین حال تأکید دارد که NNI باید تحت نظارت DOC به تعریف معیارهایی در این رابطه بپردازد و داده‌هایی را به دست آورد که بر اساس آن بتوان به ارزیابی دقیق تأثیرات آثار توسعه فناوری‌نانو پرداخت. این امر مستلزم مشارکت وهماهنگی بیشتر از سوی DOC و تداوم همکاری آن با OECD می‌باشد، تا به این ترتیب بتوان به داده‌های بهتری در سطح ملی و بین‌المللی دست یافت.

ارزیابی کمی تأثیر پایین دستی توسعه فناوری‌نانو بر اقتصاد دشوار است، اما با توجه به پیش بینی‌هایی که بر اساس دسته‌بندی‌های خوب تعریف شده از نانومواد، ابزارها و محصولات ویژه انجام شده است، می توان در صورت وجود شرایط مناسب، به برآوردهای معقولی در این زمینه دست یافت. به هر حال به دلیل آنکه صنایع زیادی در توسعه فناوری‌نانو مشارکت دارند بی تردید این فناوری تأثیر اقتصادی فراوانی خواهد داشت و پایش مداوم این تأثیر از جمله وظایف مهم DOC می‌باشد.

۳-۲ ضرورت تداوم ایجاد تعامل در محیط نوآوری

برای این کار مراکز چند رشته‌ای باید با صنعت یا سازمان‌های توسعه اقتصادی مشارکت داشته باشند. NSF، NIH و دیگر حامیان عمده مراکزی که حوزهٔ تمرکز آنها فناوری چند رشته‌ای نانو می‌باشد باید به طور صریح به حمایت، حفظ و تقویت تعاملات متقابل بخش‌های مختلف بپردازند.

۳-۳ آموزش بیشتر دانشمندان و مهندسان :

این امر برای تربیت کارآفرینان و کارکنان ماهر در حوزه فناوری‌نانو ضرورت دارد. انتقال مهارت‌ها و ایده‌ها از آزمایشگاه‌های دانشگاهی و تبدیل آن به محصولات و فرآیندهای دارای ارزش تجاری و فواید عام عمدتاً از طریق آموزش‌های دانشگاهی و فعالیت‌های تحقیقاتی امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین سرمایه‌گذاری در سطح جهانی بهترین برنامه آموزشی برای متخصصان و مهندسان فناوری‌نانو می‌باشد.[۳۷]

مرکز آموزش‌های فشرده تکمیلی کارآموزی و تحقیق (IGERT)[۳۸] با توجه ویژه به آموزش و تحقیق و توسعه

میان‌رشته‌ای فناوری‌نانو مدل قابل توجهی در این زمینه به شمار می‌آید.

◊ ۴. آثار جانبی فناوری‌نانو در حوزه‌های محیط‌زیست، سلامت و ایمنی(EHS)

تحقیقات فناوری‌نانومربوط به محیط‌زیست، سلامت و ایمنی باید به طور راهبردی، فشرده و هماهنگ و در سطح سازمان‌ها، بخش‌های مختلف و نیز سایر کشورها انجام شده و شامل یک ارزیابی متوازن از فواید و مخاطرات مربوط به کاربردهای واقعی باشد.

۴-۱ هماهنگی راهبرد فناوری‌نانو در حوزه محیط‌زیست، سلامت و ایمنی با صنعت و تأثیرگذاران

تحقیق در حوزه محیط‌زیست، سلامت و ایمنی زمینه‌ای غیررقابتی است، بنابر این به منظور پرهیز از دوباره کاری و هم‌سطح کردن سرمایه‌گذاری‌ها، NNI باید تلاش‌های این حوزه را با فعالیت‌های صنعتی و کارهایی که در دیگر کشورها انجام می‌شود هماهنگ نماید. سازمان‌های عضو NNI هم باید به شکل متمرکز و از طریق NNCO و یا سازمان‌های پیشگام مورد توافق (تعیین شده در راهبرد تحقیقاتی NNI در زمینه EHS فناوری‌نانو) فعالیت های خود را با سایر مؤسسات مربوطه هماهنگ نمایند.

٤-۲ تأکید بر عدم تفکیک تحقیقات مربوط به کاربردها و تحقیقات مربوط به تأثیرات ضمنی فناوری‌نانو

در بسیاری موارد تفکیک تحقیقات مربوط به یک کاربرد یا کاربردهای خاص فناوری‌نانو از تحقیقات حوزه محیط‌زیست، سلامت و ایمنی نیز جایگاه کاربرد نانوماده خاص، امکان‌پذیر نیست. این تفکیک علاوه بر آنکه غیرعملی است موجب نادیده گرفتن فایده کلی تحقیق می‌شود. در نتیجه، NNAP انتظار دارد که بخش قابل توجهی از تحقیقات فناوری‌نانو که به بررسی تبعات زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی آن اختصاص دارد، همچنان تحت نظارت سازمان‌های سرمایه‌گذار در تحقیق و توسعه کاربردها ادامه یافته و تنها به شکل انحصاری و با عنوان خاص تحقیق EHS شناخته نشود. تحقیق مربوط به مخاطرات که مستقل از توسعه کاربردها انجام می‌شود نیز در هر حال باید با ملاحظه مجموعه مخاطرات و فواید همراه با این فناوری یا مادهٔ خاص صورت پذیرد. به علاوه، گزارش دقیق دربارهٔ میزان ارتباط آن تحقیق با مسائل EHS در روند کل اولویت‌بندی و هماهنگ‌سازی اهمیت چندانی نداشته و در واقع حتی آن را مختل می‌کند.

٤-۳ لزوم توسعه برنامه‌های مشترک در بین سازمان‌های عضو NNI

این کار برای یکسان‌سازی سطح تخصص‌ها و منابع توزیع شده در هر سازمان با رویکرد انجام تحقیقات فناوری‌نانو مرتبط با محیط‌زیست، سلامت و ایمنی؛ و حمایت از اهداف آن ضرورت دارد. به منظور سرعت بخشیدن به پیشرفت این روند و استفاده از مهارت‌ها و دانشی که در سطح دولت فدرال توزیع شده است، سازمان‌های عضو NNI باید همچنان فعالانه در زمینه تحقیقات اولیه مرتبط با محیط‌زیست، سلامت و ایمنی مشارکت نمایند.

٤-٤ حمایت از توزیع گسترده و در دسترس قرار گرفتن اطلاعات جدید غیرانحصاری در زمینه خواص نانومواد

این قبیل اطلاعات شامل روش‌هایی برای تحلیل مخاطرات/فواید فناوری‌نانو بوده و محققان، تولیدکنندگان و

توسعه‌دهندگان فناوری‌نانو می‌توانند از آن استفاده کنند.

٤-٥ نکته:

همان‌طور که قبلاً هم در این گزارش بیان شد، در آینده نزدیک NNAP پس از بررسی راهبرد تحقیقاتی NNI در زمینه محیط‌زیست، سلامت و ایمنی که اخیراً و به‌تازگی منتشر شده‌است. ضمیمه‌ای بر این گزارش می‌افزاید.

◊ ۵- آثار جانبی اجتماعی و اخلاقی

تحقیق در زمینه مسائل اجتماعی فناوری‌نانو باید ادامه یافته و همراه با فعالیت‌های تحقیقاتی فنی عرضه شود. این تحقیقات باید با تحقیق و توسعه فناوری همراه بوده و در متن تحقیقات علمی اخلاقی اجتماعی وسیع‌تر انجام شوند. با این حال ورود محققان (به ویژه آنهایی که عمدتاً درگیر تحقیقات علوم اجتماعی، اخلاق فناوری هستند) و دیگر اعضای جامعه گسترده دانشگاهی و نیز متخصصان علم، فناوری و اجتماع به این بحث می‌تواند به توسعه بیشتر آن کمک کند.

◊ ۶. ارتباطات و توسعه

در این زمینه لازم است تا با توجه به بررسی‌های دقیق علمی و ارزیابی متوازن از مخاطرات و فواید (شناخته شده و پیش‌بینی شده) نوآوری‌های خاص و آثار جانبی آنها بر جامعه، نسبت به اصلاح سطح آگاهی و تلقی عمومی و انتظاراتی که در این زمینه وجود دارد اقدام شود.

٦-١ آگاه تر کردن افکار عمومی نسبت به ارزش فناوری‌نانو و تحقیق و توسعه‌ای که با حمایت NNI انجام می‌شود

ارتباطات و تلاش‌های توسعه‌ای گسترده‌تر از بخش‌های ضروری یک نوآوری موفق هستند. در دسترس نبودن اطلاعات و ناآگاهی افکار عمومی نسبت به فناوری‌نانو، زمینه‌ساز ترویج ادعاهای اغراق‌آمیز و درک نادرست و در نتیجه ایجاد ترس و ناامیدی نسبت به این فناوری می‌شود. این عوامل هم به نوبهٔ خود می‌تواند مانع از فواید اجتماعی آتی فناوری‌نانو شده و مانع نوآوری‌ها در این زمینه گردد.

اگر چه تمام محققان نسبت به اطلاع‌رسانی صحیح در این زمینه مسئولیت دارند، اما NNI تعدادی از برنامه‌های خود را چه به طور گسترده (مانند شبکه آموزش‌های علمی غیررسمی نانومقیاس وابسته به بنیاد ملی علوم (NSF) و یا شبکه NISE)[۳۹] و چه به طور خاص در حوزه‌های کاربردی (مانند تلاش‌هایی که Alliance در زمینهٔ اطلاع‌رسانی نسبت به‌استفاده از فناوری‌نانو در برنامه سرطان NCI [۴۰] انجام می‌دهد) به این امر اختصاص داده‌است. با این حال، NNI به منظور اطلاع‌رسانی بهتر و ترغیب سیاستگذاران و ذینفعان (از هر نوع که باشند) و نیز ارتقا سطح افکار عمومی درباره وضعیت کاربردها و نسبتی که بین مخاطرات و فواید مربوط به فناوری‌های تجاری شده یا نزدیک به تجاری شدن وجود دارد، رویکرد صریح‌تری را برای توسعه دنبال می‌نماید. این کار همچنین به منظور بیان اهمیت قابلیت‌های فناوری‌نانو در مقابله با چالش‌های بزرگ و نیز فرصت‌های بسیار زیادی که در آینده در بخش صنعتی ایجاد می‌کند، ضرورت دارد.

اگر نتوان به شیوه‌ای مؤثر تصویر کاملی از مخاطرات و فواید فناوری‌نانو (خصوصاً کاربردهای ویژه و مختلف

آن، که تا امروز پدید آمده‌اند) در اختیار افکار عمومی قرار داد، تحقق فواید اجتماعی قابل توجه مربوط به پیشرفت این فناوری (چه فواید عینی و چه فوایدی که در آینده محقق می‌شوند) با مانع جدی روبرو خواهد بود.

۶-۲ گسترش و تقویت تلاش‌های ارتباطی که در NNCO انجام می‌شود

NNCO به‌عنوان یک نهاد بین سازمانی، از موقعیت خوبی برای ایفای نقش محوری در زمینه فعالیت های اطلاع‌رسانی بیان شده برخوردار است. به علاوه این اداره باید وظیفه هماهنگی بین سازمان‌های NNI را به‌منظور افزایش فعالیت‌های ارتباطی خاص هر سازمان عهده‌دار شود. سازمان‌های عضو نیز ملزم هستند تا منابع بیشتری را برای انجام این فعالیت‌ها تهیه نمایند.

ضمیمه الف: فهرست علائم اختصاری

نام سازمان‌ها	وزارتخانه، سازمان‌ها و کمیسیون‌هایی که زیر نظر معاونت اجرایی دولت فدرال آمریکا قرار دارند
AML	آزمایشگاه‌اندازه‌گیری پیشرفته (NIST)
CDC	مراکز پیشگیری و کنترل بیماری (DHHS)
CEQ	شورای کیفیت محیط زیست (معاونت اجرایی رئیس‌جمهور)
CMOS	نیمه‌رسانای مکمل متقارن از نوع اکسید فلزی متقارن (مدارهای مجتمع)
CNST	مرکز علم و فناوی نانومقیاس
CNT	نانولوله‌کربنی
CPSC	کمیسیون ایمنی کالاهای مصرفی
DHS	وزارت امنیت داخلی
DHHS	وزارت بهداشت و خدمات انسانی
DOC	وزارت بازرگانی
DOD	وزارت دفاع
DOE	وزارت انرژی
DOEd	وزارت آموزش
DOJ	وزارت دادگستری
DOL	وزارت کار
DOS	وزارت کشور
DOT	وزارت راه (محل و نقل)
EPA	سازمان حفاظت محیط زیست
FDA	سازمان غذا و دارو (DHHS)
GIN	کارگروه مسائل جهانی فناوری‌نانو (NSET)
IGERT	تسهیلات مربوط آموزش، پژوهش و تربیت به‌صورت پیوسته
NSF	بنیاد ملی علوم
NSRC	مراکز تحقیقات علوم نانومقیاس (برنامه وزارت انرژی)
NSTC	شورای ملی علم و فناوری
OECD	سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی
OMB	اداره برنامه و بودجه (معاونت اجرایی رئیس‌جمهور)
OSTP	اداره سیاست‌گذاری علم و فناوری (معاونت اجرایی ریاست‌جمهوری)
PCA	حوزه‌های مختلف برنامه
PCAST	شورای مشورتی علم و فناوری ریاست‌جمهوری
R&D	تحقیق و توسعه
USPTO	اداره ثبت اختراعات و علائم تجاری (وزارت بازرگانی)
USDA	وزات کشاورزی آمریکا
UVA	تابش فرابنفش، موج بلند (طول موج ۳۲۰– ۴۰۰ نانومتر)

♦ ضمیمه ب: حوزه‌های تشکیل دهنده برنامه NNI

حوزه‌های تشکیل دهنده برنامه (PCAها)[۴۱] موضوعات اصلی هستند که پروژه‌ها و فعالیت‌های مرتبط با NNI تحت آنها گروه‌بندی می‌شوند. در حالی که اهداف NNI دیدگاهای پیشگامانه را دنبال می‌کند و ساختاری را برای راهبردها و طرح‌های خود فراهم می‌کند، PCAها به حوزه‌هایی از سرمایه‌گذاری که در تحقق اهداف بسیار ضروری هستند مربوط می‌شود. این حوزه‌ها جدای از علاقه‌مندی‌ها و نیاز سازمان‌های شرکت‌کننده در این طرح بوده و پیشرفتهای موردی که ممکن است از طریق هماهنگی موجود مابین چندین سازمان که تسریع طرح‌ها منجر شوند را نشان می‌دهند. در واقع منظور از این PCAها فراهم‌آوری اطلاعات مناسب برای زیر کمیته NSET به عنوان بدنه هماهنگ‌کننده اداره سیاست‌های علم و فناوری (OSTP) و اداره برنامه بودجه (OMB)، کنگره و سایرین می‌باشد تا به این ترتیب بتوان به هدایت سرمایه‌گذاری‌های ملی صورت گرفته در این حوزه‌های کلیدی پرداخت. PCAها همچنین با ایجاد ساختارهایی به هماهنگی و هدایت فعالیت‌های سازمان‌های سرمایه گذار در تحقیق و توسعه کمک می‌کنند. PCAها از هشت بخش به شرح زیرتشکیل شده‌اند:

۱. فرآیندها و پدیده‌های بنیادی نانومقیاس

کشف و توسعه دانش‌های بنیادی مربوط به پدیده‌های جدید در علوم مهندسی فیزیک و زیست‌شناسی که در سطح نانومقیاس روی می‌دهند. همچنین رفع ابهام و توضیح درباره اصول مهندسی مربوط به ساختارها، فرآیندها و سازوکارهای نانومقیاس از دیگر وظایف این بخش است.

۲. نانومواد

تحقیقاتی که با هدف کشف مواد جدید نانوساختار و نانومقیاس انجام می‌شود، شناخت عمیقی از خواص نانومواد و تحقیق و توسعه در این رابطه که به فراهم شدن امکان طراحی و سنتز کنترل شده مواد نانوساختار با خواص هدفمند می‌انجامد.

۳. ابزارها و سیستم‌های نانو مقیاس

منظور از این بخش تحقیق و توسعه‌ای است که با اِعمال اصول علم و مهندسی نانو به منظور ایجاد سیستم‌ها و ابزارهای نوین و یا بهبود ابزارها و سیستم‌های موجود صورت می‌گیرد. این بخش شامل مواد نانومقیاس و نانوساختاری است که از آنها برای انجام کارهای جدید و بهبود فعالیت‌ها استفاده می‌شود و علم و فناوری مناسبی که می‌تواند به این کار کمک کند باید در مقیاس نانو باشد ولی سیستم‌ها و ابزارها به چنین ابعادی محدود نمی‌شوند.

۴. تجهیزات، مقیاس سنجی و استانداردهای فناوری‌نانو

تحقیق و توسعه مربوط به تجهیزات لازم در تحقیقات پیشرفته نانو و تجاری‌سازی آن (نسل آینده ابزارآلات، تعیین مشخصات، اندازه‌گیری، سنتز و طراحی مواد، ساختارها، ابزارها و سیستم ها) از مواردی است که در این بخش مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین تحقیق و توسعه و دیگر فعالیت‌های مربوط به توسعه استانداردها (از قبیل

استانداردهایی برای نامگذاری مواد، تعیین مشخصات، آزمایش و تولید آنها) نیز به همین حوزه مربوط می‌شود.

۵. نانو تولید

این بخش شامل تحقیق و توسعه‌ای است که با هدف تولید انبوه، قابل اعتماد و مقرون به صرفه مواد، ساختارها، ابزارها و سیستم‌ها در مقیاس نانو صورت می‌گیرد. تحقیق و توسعه و یکپارچه‌سازی فرآیندهای بالا به پایین فوق‌العاده کوچک و نیز فرآیندهای خودآرایی یا پایین به بالایی که همواره پیچیده‌تر می‌شود از دیگر موضوعات این بخش است.

۶. تجهیزات و امکانات تحقیقاتی اصلی

تمهید تجهیزات برای کاربران، تمهید ابزارآلات اصلی و دیگر فعالیت‌هایی که به توسعه، حمایت و تقویت زیر ساختارهای علمی کشور برای انجام تحقیق و توسعه مربوط به علم، مهندسی و فناوری و نیز تداوم فعالیت تجهیزات و شبکه‌های مورد نیاز کاربران از موضوعات این بخش است.

۷. محیط زیست، سلامت و ایمنی

این حوزه عمدتاً به تحقیقاتی که در زمینه آثار جانبی فناوری‌نانو در حوزه‌ی محیط‌زیست، سلامت و ایمنی توسعه فناوری‌نانو و مخاطرات متناظر با آن انجام می‌شود، مدیریت مخاطرات و روش‌هایی برای کاهش آن اختصاص دارد.[۴۲]

۸. ابعاد اجتماعی و آموزشی

فعالیت‌های آموزشی مرتبط با فناوری‌نانو از قبیل توسعه برنامه‌های آموزشی برای مدارس و دوره های کارشناسی و نیز آموزش‌های تخصصی فنی و اطلاع‌رسانی عمومی (شامل توسعه فناوری و ایجاد انگیزه نسبت به آن) از جمله مواردی است که به این بخش مربوط می‌شود. همچنین تحقیقاتی که به منظور تعریف آثار جانبی گسترده فناوری‌نانو بر جامعه (شامل اثرات اجتماعی، اقتصادی، آموزشی اخلاقی قانونی و کارگری) و کمی نمودن آن انجام می‌شود نیز در این حوزه قرار می‌گیرد.

نکته:

با انتشار برنامه راهبردی به روز شده NNI در اواخر سال ۲۰۰۷، ابعاد اجتماعی اولیه PCA که در برنامه ۲۰۰۴ تعریف شده بود به دو بخش ذکر شده بالا تقسیم شد که این تغییر در راستای گزارش‌ها مربوط به بودجه سال ۲۰۰۶ صورت گرفت.

♦ ضمیمه ج: سرمایه‌گذاری NNI در سال ۲۰۰۹

جدول ج-۱: برنامه سرمایه‌گذاری‌های سازمان در سال ۲۰۰۹ به وسیله برنامه PCA بر حسب میلیون دلار

	DoD	NSF	DoE	DHHS (NIH)	DOC (NIST)	NASA	EPA	DHHS (NIOSH)	USDA (FS)	USDA (CREES)	DOJ	DHS	DOT (FHWA)	مجموع
پدیده‌ها و فرآیندهای بنیادی نانومقیاس	۲۲۷/۸	۱۴۱/۷	۹۶/۹	۵۵/۵	۲۴/۵	۱/۲	۰/۲		۱/۷	۰/۴			۰/۹	۵۵۰/۸
نانومواد	۵۵/۲	۶۲/۵	۶۳/۵	۲۵/۴	۸/۵	۹/۸	۰/۲		۱/۳	۰/۸				۲۲۷/۲
سیستم‌ها و ابزارهای نانومقیاس	۱۰۷/۷	۵۱/۶	۸/۱	۱۲۵/۸	۲۲/۷	۷/۷	۰/۲		۰/۷	۱/۵		۱		۳۲۷
ابزارآلات، مقیاس‌سنجی و استانداردها	۳/۶	۱۶	۳۲	۵/۹	۲۰/۹				۱/۱		۲			۸۱/۵
نانوتولید	۱۲/۸	۲۶/۹	۶	۰/۸	۱۵/۳				۰/۲	۰/۱				۶۲/۱
تسهیلات و ابزارآلات	۲۲/۱	۳۲/۱	۱۰۱/۲	۰	۵/۷	۰/۲								۱۶۱/۳
محیط زیست، بهداشت و ایمنی (HSE)	۱/۸	۳۰/۶	۳	۷/۷	۱۲/۸	۰/۱	۱۴/۳	۶		۰/۱				۷۶/۴
ابعاد اجتماعی و آموزشی		۳۵/۵	۰/۵	۴/۶										۴۰/۶
کل NNI	۴۳۱/۰	۳۹۶/۹	۳۱۱/۲	۲۲۵/۷	۱۱۰/۴	۱۹	۱۴/۹	۶	۵	۳	۲	۱	۰/۹	۱۵۲۷

♦ ضمیمه د: خلاصه‌ای از توصیه‌ها و یافته‌ها کلیدی بررسی NRC از NNI

در دسامبر ۲۰۰۶ شورای ملی تحقیقات (NRC) آکادمی‌های ملی اولین بررسی سه سالانه خود از وضعیت NNI را انجام داد. این کار عمدتاً موازی با بررسی اول NNAP انجام شد، البته با این تفاوت که مطالعاتی که تنها یک بار در زمینه معقول بودن تولید مولکولی و توسعه مسئولانه فناوری‌نانو انجام می‌شد را هم در بر می‌گرفت. [۴۳]

خلاصه برخی از این یافته‌های کلیدی به شرح زیر است:

- تحقیق و توسعه مرتبط با NNI یک روند جهانی است و در بسیاری موارد پیشگام جهانی می‌باشد و. . . در پیشرفت واکنش و نوآوری در سطح آمریکا ارزش غیرقابل وصفی دارد.
- افزایش مشارکت بین بخشی- این کار موجب گسترش توسعه تحقیقات میان رشته‌ای شده و به بهبود زیرساخت‌های تحقیق و توسعه و ایجاد حوزه‌های جدید تحقیقاتی منجر شده که آن را می‌توان از تأثیرات مهم NNI دانست.
- مشخص شدن اهداف راهبردی NNI (در برنامه راهبردی NNI) و توسعه PCAهای مرتبط با آن از نتایج مهم فعالیت‌های NNI به شمار می‌آیند که تأثیر مثبتی بر جلب حمایت دولت فدرال برای رشته‌های فعال در تحقیق و توسعه نانومقیاس داشته‌است. . . . . راهبرد اخیر موجب مشارکت NNI در آموزش نیروی کار تحقیق و توسعه قرن ۲۱ و نیز کمک به حل مشکلات اجتماعی توسعه قرن ۲۱ و نیز کمک به حل مشکلات اجتماعی از قبیل تأثیرات بهداشتی و زیست‌محیطی این فناوری شده‌است.
- ساختار انعطاف‌پذیر کارگروه‌های (NSET) . . . به ارتقاء ارتباطات میان بخشی، هماهنگی آنها و توسعه برنامه‌های مشترک کمک نموده و به این ترتیب زیر کمیته NSET با دسترسی آسان به متخصصان ناظر و کارشناسان حوزه سلامت در بخش‌های مختلف می‌تواند به‌طور مؤثر در رفع مشکلات اجتماعی تلاش نماید
- سایر توسعه‌ها و هماهنگی‌ها که به وسیله و با نظارت NNI انجام شده نیز سهم قابل توجهی در هماهنگی تلاش‌های تحقیق و توسعه‌ای که به منظور تحقق ساختن کامل توانمندی‌های فناوری‌نانو انجام می شود داشته‌است.
- یکی از تأثیرات قابل توجه NNI عبارتست از توسعه همکاری‌های جدید بین سازمان‌ها و بین واحدهای مختلف سازمان‌هایی که به تحقق و توسعه مرتبط با اهداف گسترده تعیین شده به وسیله NNI مشغولند. . .
- یکی دیگر از تأثیرات بسیار اساسی NNI سرمایه‌گذاری متمرکز به وسیله سازمان‌های عضو در ایجاد و توسعه مراکز آموزشی تحقیقاتی چند رشته‌ای خاص علم و فناوری‌نانواست. بسیاری از این مراکز با هدف در دسترس قرار دادن تجهیزات تحقیقاتی برای کاربران و محققان از بخش‌های مختلف خصوصی و دانشگاهی و دانشمندان آزمایشگاه‌های ملی تشکیل می‌شوند.

- تحقیق و توسعه علم و فناوری که به وسیله NNI انجام می‌شود و حمایت شدید دولت فدرال از تحقیقات با مبنای اکتشافی و نیز همکاری‌های میان رشته‌ای در مراکز دانشگاهی، دانشجویان زیادی را به تحرک واداشته و جذب خود نموده‌است. . . . . (با این حال) این کمیته براین باور است که از کنجکاوی افکار عمومی درباره فناوری‌نانو می‌توان به طور مؤثرتری بهره گرفته و حمایتی گسترده برای کارهای حمایتی دولت فدرال از تحقیق و توسعه علوم فیزیکی و زیست‌پزشکی به دست آورد و استعدادهای جدیدی را جذب آموزش کارشناسی و تکمیلی آمریکا نمود.
- اگر چه نشانه‌های قابل مقایسه خوبی از سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فناوری‌نانو، نوآوری‌های نتیجه شده از آن و بهره‌های اقتصادی آن در دست نیست، اما داده‌های موجود، از رشد جهانی این سرمایه‌گذاری حکایت دارد و به نظر می‌رسد ایالات متحده پیشگام این عرصه باقی بماند؛ اما در عین حال سایر کشورها هم به آن نزدیک می‌شوند.
- برای ارزیابی آثار اقتصادی فناوری‌نانو هنوز بسیار زود است و تا وقتی داده‌هایی جمع‌آوری نشده باشند و معیارهایی که تحلیل دقیق نشانگرهای اقتصادی (از قبیل شغل‌های ایجاد شده و یا تعداد افراد به‌کار گرفته شده مربوط به توسعه فناوری) را امکان‌پذیر سازند توسعه نیابد، نمی‌توان هیچ تحلیلی از آثار اقتصادی آینده این فناوری ارائه داد.
- با روش‌های آرایش مولکولی می‌توان مواد و ابزارهای نسبتاً پیچیده را طراحی و تولید نمود. اگر چه به لحاظ نظری تعیین و محاسبه پیچیدگی و تکمیل کالاهای تولیدی امکان خواهد داشت اما تحقق عملی آن با اطمینان قابل پیش‌بینی نیست. سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی مبتنی بر توانایی محققان برای تولید نمونه های عملی مرتبط با مدل‌های ذهنی و هدایت دیدگاه‌های درازمدت، مناسبت‌ترین کار برای تحقق این هدف است.
- هنوز امکان ارزیابی دقیق از میزان مخاطرات نانومواد مهندسی شده وجود ندارد و باید قوانین بیشتری به این منظور توسعه یافته و تحقیقات بیشتری برای فراهم شدن امکان ارزیابی مخاطرات بالقوه نانومواد در حوزه محیط‌زیست، سلامت و ایمنی انجام شود.

همچنین بسیاری از یافته‌های گزارش‌ها با توصیه‌هایی همراه بوده‌است که در ادامه به خلاصه‌ای از این یافته های کلیدی اشاره می‌شود.

- دولت فدرال باید سرمایه‌گذاری‌ها در زمینه علم و فناوری‌نانومقیاس را به گونه‌ای ادامه دهد که موجب متوازن شدن اهداف کوتاه‌مدت بوده و از تحقیقات درازمدت به طور مؤثری حمایت شود. این امر مستلزم ایجاد سرمایه‌های در دسترس جدید است که البته نباید به گونه‌ای باشد که میزان سرمایه گذاری های ضروری در علوم فیزیکی و تحقیقات مهندسی را تحت تأثیر قرار دهد.
- دولت فدرال باید یک هیئت تخصصی مشورتی با تخصص‌های عملی ویژه (در زمینه علوم و مهندسی نانومقیاس، مدیریت مراکز تحقیقاتی وکاربری تجهیزات و دارای تجربه مشارکت‌ها و همکاری مختلف میان

رشته‌ای) تشکیل دهد.

- سازمان‌های مشارکت‌کننده در NNI که مشاور NNCO و اداره مدیریت و بودجه می‌باشند، باید همچنان به توسعه و تقویت وسایلی برای رصد مداوم و تهیه گزارش مستمر سالانه از سرمایه‌های مورد نیاز بپردازند. مجموعه PCAهای حاضر، الگوی اولیه مناسبی برای چنین کاری هستند.
- زیرکمیته NSET باید کمیسیون مطالعاتی در زمینه بررسی امکان توسعه معیارهایی جهت کمی نمودن بازگشت سرمایه‌های اقتصادی آمریکا از سرمایه‌گذاری دولت فدرال در تحقیق و توسعه فناوری‌نانو تشکل دهد.
- تحقیق در زمینه آثار جانبی فناوری‌نانو بر محیط زیست، ایمنی و سلامت باید توسعه یابد.
- زیرکمیته NSET باید کار گروهی برای آموزش و تربیت نیروی کار به منظور ترغیب وزارت آموزش و وزارت کار به مشارکت فعالانه تشکیل دهد.

♦ پانویس‌ها

1- Presidents Council of Advisors on Science and Technology
2- National Science and technology Council
3- National Nantechnology Advisory Panel
4- Unparalleled Innovation Ecosystem
5- Program Component Area
6– Organization for Economic Co-operation and Development
7- Global Issues in Nanotechnology
8- Nanotechnology Enviromental and Health Implications
9- Nanomanufacturing , Industry Liaison and Innovation
10- Nanotechnology Public Engagement and Commumcations
11- Accountability office
12- responsible development

۱۳- البته توجه داشته باشید که هزینه واقعی صرف شده در سال ۲۰۰۵ با رقم ۱/۲ میلیارد دلار بسیار بیش از میزان مورد درخواست بوده است واین به دلیل تغییرات برنامه و اضافه های مصوب کنگره یا مبالغ تخصیص یافته دیگر است که همگی طی اصلاحات بودجه روی می دهند .

14- National Institutes of Health
15– Knowledge mapping
16– Initial Public offerings

۱۷– داده‌های شکل ۲–۴ بر اساس متن کاوی جدول ارجاعات علمی نانو با حذف اصطلاحات مقیاسی دارای این واژه (از قبیل نانو ثانیه، نانولیتر، نانوگرم، نانومولار و نانو نیوتن) و در نظر گرفتن واژه‌های مرتبط بدون پیشوند نانو (مانند نقاط کوانتومی، چاه کوانتومی، ابزارمولکولی، سیم مولکولی، فولرین، اسپینترونیک، الکترونیک مولکولی یا درخت‌سان‌ها) به دست آمده است.

18- the complementary-symmetry metal-oxide-semiconductor structure
19- working parties
20- integrators

۲۱– شرکت‌های فناوری نانو عبارتند از شرکت‌هایی که در وهله اول در سال‌های ۲۰۰۵– ۱۹۹۰ به منظور توسعه و بکارگیری فرآینده، مواد، ابزارها و دستگاههای نانوفناوری تأسیس شده‌اند. معیار در این تعریف فهرست معتبر و فشرده‌ای از شرکت‌های جدید فناوری‌نانو است که در کتاب‌های مختلف راهنمای شرکت‌های فناوری‌نانو آمده است.

۲۲– منبع داده های مربوط به سرمایه گذاری خطرپذیر: گزارش Money Tree™ اتحادیه ملی سرمایه گذاری خطرپذیر/ Price waterhouse Coopers است که بر اساس داده‌های **Thomson** Finan Cial تهیه شده است. محاسبه این داده‌ها در سپتامبر ۲۰۰۷ به وسیله جو وانگ مرکز فناوری نانو در اجتماع (**CNS-ASU**)، برنامه تحلیل سیستم‌های تحقیق و نوآوری، مرکز ارزیابی سیاست‌های فناوری موسسه فناوری جورجیا انجام شده است.

۲۳– قابل توجه آنکه سازمان غذا و داروی آمریکا اخیراً از مردم خواسته است تا هر گونه داده و اطلاعی در این مورد را به آن سازمان منعکس نمایند.

24- Withdrawal
25- Labeling
26- Moratorium
27- Polymerase chain reaction
28- human chorionic gonadotrophin

۲۹– برای اطلاعات بیشتر درباره داروی نانوساختاری متوترکسات رجوع کنید به:

http://www.adidimer . com/productportfolio/leadprodvctcandidate.html

30-Yildirim
31- Ciraci
32- Nanotechnology Environmental and Health Implications
33- Council on Environmental Quality
34- National Institute of Occupational safety and health
۳۵- نگاه کنید به:http://www.bioethics.fov/topics/nanotech ideex.html

36- Networking and information Technolgoy Ressearch & Development

۳۷- در حالیکه حوزهٔ تمرکز این گزارش به فناوری نانو اختصاص دارد، NNAP گزارش‌های مفیدی را با در نظر گرفتن ماهیت آموزش مهندسی به عنوان مرجع معرفی نموده است که گزارش مربوط به کارگاه نوامبر ۲۰۰۶ هیئت ملی علوم از آن جمله است.

38- Integrative Gradvate Edvcation Research and Traineeship

۳۹- نگاه کنید به http://www.niset.org

۴۰- نگاه کنید به : http://www.nano.cancer.gov/

41 -Program Component Areas

۴۲- تحقیق و توسعه در زمینه آثار جانبی فناوری نانو بر حوزه‌های محیط زیست، سلامت و ایمنی (EHS)، در این مسائل تلاش‌هایی که هدف اولیه آنها شناخت و رفع مخاطرات احتمالی بهداشتی و زیست‌محیطی فناوری می‌باشد را نیز شامل می‌شود. این مخاطرات احتمالی ناشی از قرار گرفتن انسان، حیوانات و محیط زیست در معرض نانوذرات (در اینجا مواد نانومقیاس مواد نانوساختاری یا ابزارهای مبتنی بر فناوری نانو و محصولات جانبی آنها) می‌باشد.

۴۳-شورای ملی تحقیقات (NRC) آکادمی‌های ملی علوم ۲۰۰۶: موضوع اندازه: مطالعه سه سالانه برنامه پیشگامی ملی فناوری نانو واشنگتن دی‌سی: خبرگزاری آکادمی‌های ملی (کشوری) نگاه کنید به:
http://www.nap.edu/catalog.php?recard