**چکیده:**

درك ماهيت مواد و چگونگي ساختارهاي آنها هميشه از اهميت ويژه اي برخوردار بوده است . مواد علاوه بر اينكه جزء مواهب طبيعت به شمار مي آيند ، در ساخت وسايل و تامين احتيجات انسان نقش عمده اي دارند . علم هم به تناسب پيشرفتي كه در چند سال اخير داشته ،توانسته است ديدگاه درستي از ماده و توانايي هاي آن پيدا كند به گونه ايکه اکنون با بررسي زمينه هاي اتمي و زير اتمي مواد و عناصر، امكان ساخت و بنا گذاري مدل هاي جديدتري از مولكول ها فراهم شده است .

نانوتكنولوژي، توانمندي توليد مواد، ابزار و سيستم‌هاي جديد با در دست گرفتن كنترل در سطح ملكولي و اتمي و استفاده از خواصي است كه در آن سطوح، ظاهر مي‌شود .

گستردگي علوم و فناوري نانو موجب تعريف كاربردهاي بسيار در عرصه‌هاي مختلف علمي و صنعتي شده است . پديده‌هايي كه در دنياي نانومتري رخ مي‌دهند بسيار پيچيده و برخي هنوز ناشناخته‌اند، اما دگرگوني و انقلاب نانوتكنولوژي، اجتناب ناپذير است . در جهان، تحقيقات گسترده‌اي در زمينه كاربردي كردن فناوري نانو در صنايع مختلف انجام شده و حجمي قابل ملاحظه از سرمايه‌هاي تحقيقاتي كشورها صرف اين كار مي‌شود .

**فصل اول:**

**علم نانو چیست**

**مقدمه**:

 نانوتكنولوژي يعني توليد و كاربرد اجسام يا وسايل با مقياس فوق العاده ريز و كوچك, اينگونه اجسام يا وسايل در حد 1 تا 100 نانومتر (mm) مي باشند يك نانومتر (mm) معادل يك ميليونيم متر است (m 000000001/0) كه حدود 50000 برابر كوچكتر از قطر موي انسان مي باشد . دانشمندان براي مقياس نانو به حدود 1 تا 100 نانومتر استناد مي‌كنند و اجسام و مواردي كه در اين مقياس هستند بنام نانوكريستال يا اجسام نانو (nanomaterials) ناميده مي شوند . مقياس نانو بي مانند و كم نظير است زيرا هيچ شيئي كوچكتر از آن نمي توان ساخت و از طرفي به اين علت بي نظير است كه بسياري از مكانيزم هاي بيوتكنولوژي و فيزيكي در مقياس هاي طولي 1/0 تا 100 نانومتر كار مي كنند . در اين ابعاد اجسام خواص فيزيكي مختلفي نشان مي دهند و بدين ترتيب دانشمندان اميدوارند كه بسياري تاثيرات نوين در مقياس نانو براي پيشرفت تكنولوژيهاي مختلف كشف و مورد استفاده واقع گردند . برخي پيشرفت هاي مهم قبلاً در نانوتكنولوژي رخ داده است . اين پيشرفت ها در محصولاتي كه در سراسر دنيا توليد مي شوند مي توان يافت . بعضي از نمونه ها عبارتند از مبدل‌هاي كاتاليتيكي (Catalitic) در اتومبيل ها كه به حذف مواد آلوده كننده هوا كمك مي نمايند . كرم‌هاي ضدآفتاب و مواد آرايشي كه تشعشع مضر ناشي از آفتاب را مي گيرند بدون اينكه شفافيت و نور از بين برود و يا روكش ها و پوشش هاي ويژه جهت پوشاك ورزشي و يا لباسهائي كه كاركرد و عمل ورزشكار را بالا ميبرد . هنوز بسياري از دانشمندان, مهندسين و تكنولوژيست‌ها معتقدند كه آنها فقط سطح پتانسيل نانوتكنولوژي را خراشي داده اند . نانوتكنولوژي طفوليت خود را ميگذاراند و هيچكس با دقت نمي تواند پيش بيني كند كه نتيجه شكفتن كامل اين تكنولوژي در چند دهه آينده چه خواهد بود . معهذا بسياري از دانشمندان با اطمينان اعتقاد دارند كه نانوتكنولوژي اثرات عمده اي بر روي صنعت نفت، مراقبت هاي بهداشتي و پزشكي، كامپيوتر ، سنسورها، امنيت و دفاع جهاني خواهد داشت .

**نانوتكنولوژي چيست**:

براي درك و فهميدن مقياس نانو, قطر يك اتم كه جزء اصلي سازنده ماده مي باشد, در نظر بگيريد . اتم هيدروژن, يكي از كوچكترين اتمهاي موجود در طبيعت فقط 1/0 نانو قطر دارد . در واقع كليه اتمها تقريباً از نانو مي باشند و بحدي ريزند كه چشم انسان قادر به ديدن آنها نيست . اتم ها بهم متصل شده و ملكولها را تشكيل ميدهند كه كوچكترين جزء تشكيل دهنده يك تركيب يا ماده شيميايي ميباشند . ملكولها به نوبه خود, سلولها را بوجود مي آورند كه واحدهاي اصلي زندگي بشمار مي روند . ملكولهائي كه شامل 30 اتم مي باشند قطرشان حدود 1 نانومتر است . اندازه سلولهاي انسان از 5000 تا 200000 نانو ميباشد يعني بزرگتر از مقياس نانو هستند معهذا مواد پروتئيني كه عمليات دروني سلول ها را انجام مي دهند فقط 3 تا 20 نانو ميباشند و در مقياس ويروسهائي كه سلولهاي انسان را مورد حمله قرار مي‌دهند . حدود 10 تا 200 نانو و ملكولهاي سازنده داروها جهت مقابله با ويروسها كمتر از 5 نانو بزرگي دارند . امكان ساخت مواد و وسايل جديدي كه در همين مقياس كارهاي اصلي طبيعت عمل نمايند دليل آنست كه چرا توجه بسياري به جهان كوچكتر از 100 نانو معطوف شده است . اما 100 نانو يك خط تقسيم اختياري نيست اين مقدار طولي است كه در آن خواص ويژه اي در مواد و اجسام مشاهده گرديده است يعني خواصي كه عميقاً با خواص موجود در مقياس نانو تفاوت بسيار دارند . انسان عملاً مدتها درباره اين خواص ويژه اطلاعاتي داشته است ولي نمي فهميد كه چرا اين خواص پيدا شده و يا رخ مي دهند . شيشه گران در قرون وسطي براي مثال مي‌دانستند كه اگر طلا را به ذرات بسيار ريز خرد كننده و اين ذرات خيلي ريز را داخل شيشه مي پاشند رنگ طلا از زرد اصلي يا به آبي يا سبز يا قرمز تبديل شود كه بستگي به اندازه ذرات طلا دارد . شيشه گران از اين ذرات براي ساختن و توليد شيشه هاي رنگي زيبا جهت پنجره ها استفاده مي كردند كه در كليساهاي سراسر اروپا يافت مي شوند, مثلاً كليساي نوتردام دوپاري در فرانسه . اين شيشه گران در آن زمان نمي‌دانستند كه طلا را در مقياس نانو خرد كرده اند يا نانوكريستال طلا تهيه نموده اند . در مقياس هاي بزرگتر از 100 نانو رنگ طلا زرد است ولي در اندازه هاي كوچكتر از 100 نانو رنگهاي ديگري خواهد داشت . نانوتكنولوژيست ها فريفته و وسوسه امكان توليد وسايل ساخت انسان در اندازه مولكولي در مقياس نانو شده اند و به همين علت است كه اين رشته را گاهي اوقات نانوتكنولوژي ملكولي مي نامند . بعضي از نانوتكنولوژيست ها قصد دارند اجسام و وسايل (خودتكثير) بسازند يعني به طور همزمان كار خود را انجام داده و تعدادشان را تكثير نمايند درست مانند عملي كه موجودات زنده انجام مي دهند . براي برخي از طرفداران اوليه اين رشته, اين موضوع از نانوتكنولوژي بيشترين اهميت را دارد . اگر واحدهاي فعال و كاري بسيار ريز را بتوان در اندازه يك مولكول بهم سوار و مونتاژ نمود بطوريكه تحت شرايط كنترل شده خود تكثير باشند كارآئي هاي عظيمي واقعيت خواهد يافت معهذا بسياري از دانشمندان در رابطه با امكان ساخت اجسام نانو كه خودتكثير باشند شك دارند .

**روش هاي رسيدن به نانوتكنولوژي**:

دانشمندان هم اكنون در حال مطالعه و تجربه در رابطه با روش ساخت و توليد وسايل و مواد با مقياس 1 تا 100 نانو مي باشند . اين روشها را بالا به پايين و پايين به بالا مي نامند .

الف ـ روش بالا به پايين Top - Down ـ در فرايند بالا ـ پايين نانوتكنولوژيست ها از يك ماده يا جسم مجسم شروع كرده و از آن اجسام كوچكتر بريده و در مي آورند . اين روشها عموماً امروزه جهت ساخت و توليد قطعات كامپيوتر و قطعات حافظه و ساير اجزائي كه مدارها را بهم پيوسته و كامپيوتر با آنها كار مي كند, مورد استفاده قرار مي‌گيرند . براي توليد قطعات كامپيوتر, فيلم هاي نازكي از مواد كه ماسك ناميده ميشوند روي ورقه هاي سيليكون رسوب داده مي شود (اندود مي شود) و قسمتهاي غير مورد نياز بيرون آورده مي شود . تقريباً كليه قطعات تجارتي كامپيوتري كه امروزه ساخته ميشوند بزرگتر از 100 نانومتر ميباشند معهذا تكنولوژي جهت ساخت و توليد قطعات كامپيوتري كوچكتر و سريع تر تا كنون به زير 100 نانومتر رسيده است . قطعات كوچكتر و سريعتر كامپيوتري موجب مي شوند كه كامپيوترها كوچكتر شده و عمليات را خيلي سريعتر انجام دهند . روش بالا پايين كه گاهي اوقات mictofabrication (ساخت و توليد قطعات خيلي ريز) و يا nanofabrication (ساخت و توليد نانو) ناميده مي شوند از روش ها پيشرفته حكاكي و يا چاپ بر روي سنگ براي ساخت و توليد قطعات كامپيوتر به اندازه هاي فعلي يا كوچكتر از آنها, استفاده مي نمايد اين شامل ليتوگرافي نوري و ليتوگرافي E - Beam (تشعشع الكتروني) مي باشند . ليتوگرافي نوري امروزه براي توليد اجسامي كوچكتر از 100 نانومتر بكار مي رود . تلاش ميشود كه با اين روش قطعات حتي كوچكتر را نيز توليد نمايند . ليتوگرافي E - Beam (تشعشع الكتروني) ميتواند قطعات كوچكتر از 20 نانومتر را توليد كند معهذا ليتوگرافي E - Beam براي توليد با مقياس زياد مناسب نيست زيرا خيلي گران تمام مي شود . توليد تجهيزات ساخت قطعات كامپيوتري با استفاده از ليتوگرافي نوري چندين ميليون دلار هزينه داشته است . بالاخره روش بالا پايين براي توليد قطعات بسيار ريز نه تنها به نظر خيلي گران مي رسد بلكه از نظر فني نيز غيرممكن مي باشد . نصب و مونتاژ قطعات كامپيوتري و ساير اجسام ديگر كه با مقياس نانومتر ساخته شده اند بدليل اساسي غيرقابل كار مي باشند براي كوچك كردن يك جسم كه با طراحي ويژه اي در نظر گرفته شده ابزار و وسايلي كه بايد براي كار با آنها و توليد آن جسم بكار برده شوند بايد ابعاد و يا دقتي كوچكتر از قطعه اي كه بايد توليد شود, داشته باشند . بنابراين ابزار ماشيني بايد لبه برنده كوچكتر و ظريفتر از ريزترين جزئي باشد كه بايد كوچك شود بهمين ترتيب ماسك ليتوگرافي يا حكاكي كه بايد براي قلم زدن يا حكاكي و كندن نقاطي از صفحه سيليكوني بكار گرفته شود بايد داراي دقتي ظريفتر از ماده اي باشد كه بايد بريده و درآورده شود . در مقياس نانو كه در آن ماده اي كه بايد برداشته شود و يا درآورده شود ميتواند به اندازه يك اتم يا يك ملكول تنها, باشد و امكان چني شرايطي وجود ندارد .

ب ـ روش پايين ـ بالا : در نتيجه, دانشمندان براي ساخت و توليد قطعات و اجسام با مقياس نانو علاقه‌مند به روش كاملاً متفاوتي شده اند كه به روش پايين ـ بالا مشهور است . روش پايين ـ بالا شامل بكار بردن اتمها و ملكولها جهت ساخت قطعات بسيار ريز يا نانومتري است . در روش پايين ـ بالا از مسئله اجبار جهت ساخت با اندازه مقياس نانو و يا كوچكتر از آن خودداري مي شود و در عوض اجسام ريز نانومتري اتم به اتم و ملكول به ملكول رويهم سوار شده و از سطح اتم بطرف بالا پيش ميرود درست همان وضعي كه در طبيعت اتفاق مي افتد معهذا ساخت قطعات در اين مقياس نيز مشكلات وسايل خود را دارد . در مدرسه, بچه ها بعضي چيزها درباره اين مسائل ياد مي گيرند, وقتي كه حركت اتفاقي Brownian در ذرات معلق در مايعات مثلاً آب, مطالعه مي كنند . ذرات خودشان حركت نمي كنند و ملكولهاي آب كه اطراف ذرات را فرا گرفته اند بطور مداوم در حال حركت مي باشند و اين حركت موجب برخورد ملكولها به ذرات بطور اتفاقي مي شوند . اتم ها نيز چنين حركت تصادفي و اتفاقي را از خود نشان ميدهند كه ناشي از انرژي سينتيك (انرژي حركتي) آنها مي باشند . درجه حرارت و نيروئي كه اتمها را بهم متصل نموده است بنوبه خود در ميزان و درجه حركت اين اتمها نقش دارند . حتي در جامدات و در درجه حرارت اطاق, مثلاً صندلي كه ممكن است روي آن نشسته باشيد اتمها در اطراف در حال حركت مي باشند كه اين پديده را انتشار و پخش مي نامند . اين توانايي اتمها جهت حركت به اطراف وقتي اجسام از جامد به مايع و سپس به گاز تبديل مي شود افزايش مييابد . اگر قرار باشد مهندسين و دانشمندان اجسام را در مقياس اتمي با موفقيت ساخت و توليد نمايند بايد وسايل و روشهايي جهت غالب آمدن بر اين رفتار اتمها را در اختيار داشته باشند .

يك نمونه واضح از اين نوع مشكلات در سال 1990 پيش آمد كه متخصصين شركت IBM نوعي ميكروسكوپ (Scanning prabe) براي بهم سوار كردن اتمهاي گزنون بكار بردند تا حروف IBM را روي سطح نيكلي درآورند . براي جلوگيري از حركت اتمها از جاهاي تعيين شده, سطح نيكل را تا درجه حرارت نزديك به صفر سرد كرده و به پايين ترين درجه حرارت ممكنه رساندند و حرارت را بطور كامل از بين بردند (صفر مطلق تقريباً 16/273ـ درجه سانتيگراد يا 69/459ـ درجه فارنهايت مي باشد .) در اين درجه حرارت پايين, اتمها داراي انرژي جنبشي يا سينتيك خيلي كمي شده و بصورت منجمد در مي آيند . معهذا حصول به اين درجه حرارت, براي ساخت و توليد وسايل تجارتي غيرعملي و غيراقتصادي مي باشد ولي با وجود اين, توانايي دانشمندان در جهت كاربرد اتمها يكي از نخستين علائم و نشانه هاي عملي بودن روش پايين ـ بالا بشمار مي رفت و همچنين نشان داد كه پيدايش نانوتكنولوژي يك علم تجربي مي باشد .

**ظهور و پيدايش نانوتكنولوژي**:

موضوع نانوتكنولوژي توسط فيزيكدان آمريكايي بنام Richard .P .Feynman مطرح گرديد . در يك گفتگو با انجمن فيزيك آمريكايي در دسامبر 1959, بعنوان «مقدار زياد جا در پايين است» و «يك دعوت براي ورود به رشته جديدي از فيزيك» آقاي Feynman نمونه ها و مثال هاي سودمندي از توليد ساختارهاي فوق العاده كوچك ارائه نمود . Feynman محاسبه نمود كه تمام جلدهاي دايره المعارف برتيانيكا را ميتوان در نوك يك سنجاق جا داد و برآورد نمود كه كليه دانش و اطلاعات چاپ شده توسط انسان را مي توان در نوك يك سنجاق جا داد و برآورد نمود كه كليه دانش و اطلاعات چاپ شده توسط انسان را ميتوان بحدي كوچك نمود كه در 35 صفحه با ابعاد معمولي جا داده شوند .

اگرچه او اصطلاح نانوتكنولوژي را ابداع نكرد ولي قدرت رويايي و خيالي او موضوعات كليدي و اصلي نانوتكنولوژي امروزه را پيش بيني نمود . مثلاً اهميت ميكروسكوپ هاي پيشرفته و يا توسعه و گسترش روشهاي جديد ساخت و توليد . او بر اهميت تركيب دانش و ابزار و روشهاي مورد استفاده فيزيكدانان, شيميست ها و بيولوژيست ها تاكيد نمود . او به دنياي طبيعي بعنوان نمونه اي اشاره نمود كه چگونه مي توان كارها و اطلاعات فراوان و عظيمي را در يك حجم كوچك جا داد . براي مثال يك سلول تنها مي تواند حركت كرده و فرآيندهاي بيوشيميايي را انجام داده و در داخل ملكول DNA خود اطلاعات كاملي از طراحي و عمل ارگانيزم پيچيده اي وجود دارد كه خود بخشي از آن است . Faynman معتقد بود كه امكان ساخت و توليد اجسام با مقياس نانو در محدوده هاي قوانين فيزيكي امكان پذير مي باشد . او مخصوصاً امكان سوار كردن اتم با اتم يعني توليد يك ساختار (يك مولكول يا يك قطعه) از تك تك اتمها كه دقيقاً توسط نيروهاي شيميايي بهم متصل باشند, متذكر گرديد . اين امكان منجر به موضوع Universal assemblet گرديد كه يك وسيله ربات در ابعاد نانو مي باشد و مي‌توانست به طور اتوماتيك اتمها را جمع كرده و ملكولهايي با تركيبات شيميايي دلخواه را به وجود آورد . براي مثال چنين وسيله اي مي توانست اتمهاي كربن را بهم سوار و جمع كرده الماسهاي بزرگ و با قيمت ارزان تهيه نمود كه يك ماده صنعتي بالقوه مهم در صنعت بشمار مي رود و اكنون فقط در مقادير محدودي مصرف مي شود زيرا هزينه استخراج يا توليد مصنوعي آن خيلي بالا است چنين الماس هاي مصنوعي ميتوانند مصرف صنعتي و معدني بسياري داشته باشند زيرا آنها سبك و ارزان و در عوض خيلي سخت و محكم و از نظر الكتريكي عايق مي باشند ولي قابليت هدايت حرارتي بالايي دارند . ايده ربات با مقياس نانو براي ساخت و توليد در حال تحقيق توسط محققين مختلف مي باشد, اگرچه مباحثه زياد بر سر اين موضوع وجود دارد كه آيا چنين وسيله و دستگاهي واقعاً در درون قوانين شيمي, فيزيك و ترموديناميك امكان‌پذير است يا خير .

نانوتكنولوژي از اواخر سالهاي دهه 1970 شروع به پيشرفت و توسعه بعنوان يكي از اجزاء اصلي و كليدي تكنولوژي آينده نموده است . اصطلاح نانوتكنولوژي براي نخستين بار در سال 1974 توسط دانشمندان ژاپني Nario Taniguchi در يك روزنامه بكار برده شد تحت عنوان «موضوع و مفهوم اصلي و پايه اي نانوتكنولوژي» سپس اين اصطلاح توسط يك مهندس آمريكائي بنام K .Eric Drexler در كتاب «ماشين هاي توليد» در سال 1986 بكار رفت كه تاثير بيشتري داشت و به سرعت بخشيدن به توسعه و پيشرفت اين رشته كمك نمود . در اين زمان پيشرفت عمده و بزرگي در صنعت حاصل شده بود از قبيل ساخت و توليد كريستال هايي با ذرات مقياس نانو از فلزات غيرفعال (غيرواكنش كننده) و در مبدل هاي كاتاليتكي مصرفي در اتومبيل ها مورد استفاده قرار گرفت . اين كاتاليست ها از نظر شيميايي اكسيدهاي نيتروژن سمي مورد احياء قرار ميدهد تا به نيتروژن تبديل كند و بطور همزمان منواكسيد كربن سمي را اكسيد نموده و به دي اكسيد كربن غيرسمي تبديل مي كند .

**ابزار نانوتكنولوژي**:

1 ـ ميكروسكوپ الكتروني انتقالي (TEM)

اين ميكروسكوپ يك اشعه الكتروني با انرژي زياد بكار برده تا نمونه گيري از اجسام با ضخامت كمتر از 100 نانومتر انجام دهد . اشعه الكتروني روي شيئي كه بايد بزرگنمايي شود مستقيماًُ تنظيم و متمركز ميگردد . بعضي از الكترونها جذب ماده شده برخي از آنها دفع و دور شده و تعدادي نيز از جسم عبور كرده و تصوير بزرگ شده از ماده يا جسم را تشكيل مي دهند . يك صفحه فتوگرافيك و يك صفحه فلوئورسنت يا دوربين ديجيتالي كه در پشت جسم (ماده) قرار داده شده تصوير بزرگ شده را قبول و مثبت مي كند . يك TEM ميتواند شيئي را تا 30 ميليون برابر بزرگ نمايد در حاليكه برعكس يك ميكروسكوپ نوري معمولي فقط مي تواند تا 1000 برابر بزرگ كند . TEM براي عكس گرفتن از اشياء با ابعاد كوچكتر از 100 نانومتر مناسب ميباشند و اطلاعاتي را درباره اندازه و ابعاد ساختار نانو يعني جسم با مقياس نانومتر و تركيب آن و ساختمان كريستالي آن ارائه ميدهند . TEM يك دستگاه قدرتمند و متداول در جامعه علم نانو به شمار ميرود . اكثر تصاويري كه در نشريات علمي چاپ و منتشر مي شوند و در مقياس نانو هستند و در نيمه رساناها يا نيمه هادي ها يافت ميشوند با اين دستگاه (TEM) ضبط شده اند . TEM مي تواند به آساني تك تك اتمها را داخل كريستالهاي نيمه رساناها مشاهده نموده و تصوير بردارد .

2 ـ (AFM) ـ ميكروسكوپ نيروي اتمي

اين ميكروسكوپ يك قطعه بسيار كوچك سيليكون را بكار ميبرد كه معمولاً قطر آن كمتر از 100 نانو مي باشد و بعنوان نمونه‌گير براي گرفتن تصوير از يك نمونه جسم عمل مينمايد . بتدريج كه نمونه گير سيليكون در طول سطح نمونه حركت مي كند . الكترونهاي موجود در نمونه گير را دفع مي نمايند . ميكروسكوپ AFM ارتفاع نمونه گير را طوري تنظيم مي كند كه نيروي نمونه ثابت بماند . يك مكانيزم تشخيص دهنده (سنسور) حركات بالا و پايين نمونه گير را ثبت كرده و اطلاعات را به كامپيوتر مي دهد كه تصوير سه بعدي از سطح نمونه بر ميدارد و بدين ترتيب توپوگرافي دقيق سطح نمونه را ميتوان با اطلاعات دقيق ارتفاع ثبت و ضبط نمود و تك تك اتمهاي موجود در سطح را ميتوان عكسبرداري نمود ولي قدرت تفكيك resolution در اين روش گاهي ضعيف است .

3ـ (STM) ـ ميكروسكوپ اسكنينگ توتلينگ

ميكروسكوپ STM يك پروب يا نمونه‌گير بسيار كوچك كه نوك آن باندازه اتم مي باشد براي اسكن كردن شيئي مورد استفاده قرار مي دهد . اين ميكروسكوپ از خواص موجي شكل الكترونها كه اصطلاحاً توتلينگ ناميده ميشود استفاده مي نمايد . توتلينگ به الكترونهايي كه از پروپ (نمونه‌گير) ميكروسكوپ خارج مي شوند امكان مي دهد كه بداخل سطح شيئي مورد آزمايش نفوذ نموده و اصطلاحاً «تونل» بزنند . سرعتي كه در آن الكترونها از پروب بداخل سطح شيئي مورد آزمابيش نفوذ مي كنند يا باصطلاح «تونل» ميزنند بستگي بفاصله بين پروپ و سطح شيئي دارد . اين الكترون هاي در حال حركت توليد جريان ضعيفي الكتريسيته مي كنند كه STM آنرا اندازه گيري مي نمايد . STM بطور ثابت و پيوسته ارتفاع پروب را تنظيم مي كند تا جريان را ثابت نگه دارد . با رديابي و دنبال كردن چگونگي تغيير ارتفاع پروب بتدريج كه روي سطح شيء حركت مي كند, دانشمندان مي توانند يك نقشه جامع و مفصل از سطح را بدست آورند و اين نقشه طوري مفصل و با جزئيات است كه تك تك اتمهاي روي سطح قابل رويت ميباشند .

**دسته بندی نانو مواد**:

از آنجایی كه علوم نانو بخش وسیعی برگرفته از مباحث شیمی، فیزیك، بیولوژی، پزشكی، مهندسی و الكترونیك را در بر می گیرد،‌گروه بندی آن بسیار پیچیده است . دانشمندان، علوم نانو را به چهار گروه شامل مواد (گروه اول)، مقیاسها (گروه دوم)، تكنولوژی الكترونیك، اپتوالكترونیك، اطلاعات و ارتباطات (گروه سوم) و بیولوژی و پزشكی (گروه چهارم) طبقه بندی كرده اند . این طبقه بندی باعث سهولت در بررسی این علوم شده است .البته تداخل برخی از بخش ها در یكدیگر طبیعی است . برنامه های توسعه این تكنولوژی به سه بخش كوتاه مدت (كمتر از پنج سال)، میان مدت( بین۱۵-۵ سال) و بلند مدت (بیش از۲۰ سال) تقسیم بندی شده است . مواد نانو (nanomaterials) قابلیت كنترل ساختار تشكیل دهنده مواد پیشرفته (از فولادهای ساخته شده در اوایل قرن۱۹ تا انواع بسیار پیشرفته امروزی) در ابعاد كوچك و كوچكتر،‌ در اندازه های میكرو و نانو بوده است . هر قدر بتوانیم این مواد را در ابعاد ریزتر و كنترل شده ای تولید كنیم خواهیم توانست مواد جدیدی را با قابلیت و عملكردهای بسیار عالی به دست آوریم . تاكنون تعاریف متعددی از مواد نانو ارائه شده است اما در یك تعریف جامع می توان گفت موادی در این گروه قرار می گیرند كه یكی از ابعاد اضلاع آنها از۱۰۰ نانومتر كوچكتر باشد . یكی از این گروهها »لایه ها« است . لایه ها یك بعدی هستند كه در دو بُعد دیگر توسعه می یابند مانند فیلم های نازك و پوششها . برخی از قطعات كامپیوتر جزو این گروه هستند . گروه بعدی شامل موادی است كه دارای دو بعد هستند و در یك بعد دیگر گسترش می یابند و شامل لوله ها و سیمها می شوند . گروه مواد سه بعدی در نانو شامل ذرات، نقطه های كوانتمی (ذرات كوچك مواد نیمه هادیها) و نظایر آنها می شوند . دو ویژگی مهم، مواد نانو را از دیگر گروهها متمایز می سازد كه عبارتند از افزایش سطح مواد و تاثیرات كوانتمی . این عوامل می توانند باعث ایجاد تغییرات و یا به وجود آمدن خواص ویژه ای مانند تاثیر در واكنشها، مقاومت مكانیكی و مشخصه های ویژه الكتریكی در مواد نانو شوند . همانگونه كه اندازه این مواد كاهش می یابد، تعداد بیشتری از اتمها در سطح قرار خواهند گرفت . برای مثال، اتم های موادی به اندازه۳۰ نانومتر به میزان۵ درصد،۱۰ نانومتر به میزان۲۰ درصد و۳ نانومتر به میزان۵۰ درصد در سطح قرار دارند . در نتیجه مواد نانو با ذرات كوچكتر در مقایسه با مواد نانو با ذرات بزرگتر دارای سطح بیشتری در واحد جرم هستند . با توجه به ازدیاد سطح در این مواد، تماس ماده با سایر عناصر بیشتر شده و موجب افزایش واكنش با آنها می شود . این عمل منجر به تغییرات عمده در شرایط مكانیكی و الكترونیكی این مواد خواهد شد . برای مثال سطوح بین ذرات كریستالها در بیشتر فلزات باعث تحمل فشارهای مكانیكی بر آن می شود . اگر این فلزات در مقیاس نانو ساخته شوند، با توجه به ازدیاد سطح بین كریستالها، مقاومت مكانیكی آن به شدت افزایش می یابد . برای مثال فلز نیكل در مقیاس نانو مقاومتی بیشتر از فولاد سخت شده دارد . به موازات تاثیرات ازدیاد سطح، اثرات كوانتمی با كاهش اندازه مواد (به مقیاس نانو) موجب تغییر در خواص این مواد می شود (تغییر در خواص بصری، الكتریكی و جاذبه) . موادی كه تحت تاثیر این تغییرات قرار می گیرند ذرات كوانتمی، لیزرهای كوانتمی برای الكترونیك بصری هستند . همانگونه كه بیش از این گفته شد مواد نانو، به سه گروه یك، دو و سه بُعدی طبقه بندی شده اند .

1 **. مواد نانوی یك بعدی**:

 این مواد شامل فیلم های بسیار نازك و سطوح مهندسی است و در ساخت ابزار الكتریكی و شیمیایی و مدارهای الكترونیكی ساده و مركب كاربرد وسیعی دارند . امروزه كنترل ضخامت لایه ها تا اندازه یك اتم صورت می پذیرد و ساختار این لایه ها حتی در مواد پیچیده ای مانند روانكارها شناخته شده است . لایه های مونو كه قطر آنها به اندازه یك ملكول و یا یك اتم است، در علوم شیمی كاربرد وسیعی دارند . یكی از كاربردهای این لایه ها ساخت سطوحی است كه خود را بازسازی كنند .

2 .**مواد نانوی دوبعدی:**

به تازگی كاربرد مواد نانوی دو بعدی در تولید سیم و لوله ها افزایش یافته و توجه دانشمندان را به دلیل وجود خواص ویژه مكانیكی و الكترونیكی به خود جلب كرده است . در زیر به چند نمونه ساخته شده در این گروه اشاره می شود .

 **نانو لوله های كربنیCNTs** :

از رول كردن ورقهای گرافیتی یك یا چند لایه ساخته شده و قطر آنها چند نانو و طولشان چند میكرومتر است .ساختار مكانیكی این مواد مانند الماس بسیار سخت است اما در محورهای خود نرم و تاشو هستند .همچنین این مواد هادی الكتریكی بسیار عالی هستند . نوع غیر عالی نانو لوله های كربنی مانند مولیبید یوم دی سولفاید پس از CNTs ساخته شده است . این مواد دارای ویژگی های منحصر به فردی همچون روانكاری، مقاومت در برابر ضربات امواج شوكها، واكنشهای كاتالیزی و ظرفیت بالا در ذخیره هیدروژن و لیتیم هستند . لوله های مواد پایه اكسیدی مانند اكسید تیتانیم، برای كاربردهای كاتالیزی، كاتالیزرهای نوری و ذخیره انرژی به صورت تجاری به بازار عرضه شده اند .

 **نانو سیمها:**

این سیمها از قرار گرفتن ذرات بسیار ریز از مواد مختلف به صورت خطی ساخته می شوند . نانوسیمهای نیمه هادی از سیلیكون، نیترات گالیم و فسفات ایندیوم ساخته شده و دارای قابلیتهای بسیار خوب نوری، الكتریكی و مغناطیسی است و نوع سیلیكونی این سیمها می تواند بخوبی در یك شعاع بسیار كوچك بدون آسیب رسانی به ساختار سیم خم شود . این سیمها برای ثبت مغناطیسی اطلاعات در حافظه كامپیوترها، وسایل نانوالكترونیكی و نوری و اتصال مكانیكی ذرات كوانتمی به كار می روند .

**بیوپلیمرها**:

انواع گوناگون بیوپلیمرها، مانند ملكولهای DNA ، در خودسازی نانوسیمها در تولید مواد بسیار پیچیده به كار می روند . همچنین این مواد دارای قابلیت اتصال نانو و بیوتكنولوژی برای ساخت سنسور و موتورهای كوچك هستند .

3 .**مواد نانوی سه بعدی**:

این مواد به آن گروه تعلق دارد كه قطری كمتر از۱۰۰ نانومتر داشته باشند . مواد نانوی سه بعدی در اندازه های بزرگتر ساختار متفاوتی داشته و طیف وسیعی از مواد را در جهان تشكیل می دهند و صدها سال است كه به صورت طبیعی در زمین یافت می شوند . مواد تولید شده از عوامل فتوشیمیایی، فعالیت های آتش فشانها، مواد محترق از پختن غذا، مواد متصاعد از احتراق سوخت ماشین ها و مواد آلاینده تولید شده در صنایع جزو این گروه از مواد هستند . این مواد به علت رفتار متفاوت در واكنش های شیمیایی و بصری بسیار مورد توجه قرار دارند . برای مثال اكسید تیتانیوم و روی كه بصورت شفاف و فرانما، جاذب و منعكس كننده نور ماورای بنفش در صفحات خورشیدی به كار می روند در ابعاد نانو هستند . این مواد كاربردهای بسیار ویژه ای در ساخت رنگها و داروها (به ویژه داروهایی كه تجویز آنها فقط برای یك عضو مشخص بدن و بدون تاثیر بر سایر اعضاست) دارند . مواد نانوی سه بُعدی شامل مواد بسیاری می شود كه به چند نمونه از آنها اشاره می كنیم .

 كربن۶۰ (فوله رنس Fullerenes)

در اوایل سال۱۹۸۰ گروه جدیدی از تركیبات كربنی بنام كربن۶۰، ساخته شد . كربن۶۰ ، كروی شكل، به قطر۱ نانومتر و شامل۶۰ اتم كربن است كه به علت شباهت ساختار مولكولی آن با گنبدهای كروی ساخته شده توسط مهندس معماری بنام بوخ مینستر فولر بنام »فوله رنس« نامگذاری شد . در سال۱۹۹۰ ، روش های ساخت كوانتم های كربن۶۰ با مقاومت حرارتی میله های گرافیتی در محیط هلیم بدست آمد . این ماده در ساخت بلبرینگ های مینیاتوری و مدارهای الكترونیكی كاربرد وسیعی دارند .

**دِن دریمرز (Dendrimers)**

 دن دریمرز از یك ملكول پلیمر كروی تشكیل شده و با یك روش سلسله مراتبی خود سازی تولید می شوند . انواع گوناگونی از این مواد به اندازه های چند نانومتر وجود دارند . دن دریمرز در ساخت پوششها، جوهر و حمل دارو به بدن كاربرد فراوانی دارند . همچنین در تصفیه خانه ها به منظور بدام انداختن یونهای فلزات كه می توان به وسیله فیلترهای مخصوص از آب جدا شوند از این مواد استفاده می شود .

 **ذرات كوانتمی**:

مطالعات در مورد ذرات كوانتمی در سال۱۹۷۰ شروع شد و در سال۱۹۸۰ این گروه از مواد نانوی نیمه هادی ساخته شدند . اگر ذرات این نیمه هادی ها به اندازه كافی كوچك شوند، تاثیرات كوانتمی ظاهر شده و می توانند میزان انرژی الكترونها و حفره ها را كاهش دهند . از آنجایی كه انرژی با طول موج ارتباط مستقیم دارد در نتیجه خواص نوری مواد بصورت بسیار حساس قابل تنظیم خواهد شد و می توان با كنترل ذرات، جذب یا دفع طول موج خاص در یك ماده را امكان پذیر ساخت . به تازگی با ردگیری مولكولهای بیولوژی با كنترل سطح انرژی این ماده، كاربردهای جدیدی از آن كشف شده است . در حال حاضر استفاده از مواد نانو رو به افزایش است و به علت خواص بسیار ویژه آنها، تحقیقات در یافتن مواد جدید همچون گذشته ادامه دارد .

**بررسي روند رشد اختراعات در حوزه فناوري نانو:**

با توجه به پيشرفت‌هاي پديد آمده در علوم پايه و به خصوص در مقياس نانو، بسياري از شركت‌ها تصميم گرفته‌اند تا به منظور توليد محصولات جديد، بهبود محصولات موجود و يا كارآمدتر كردن فرآيندهاي داخلي خود، روش‌هايي را بر اساس فناوري نانو توسعه دهند .  بنابراين سرمايه‌گذاري کلاني را به اين حوزه معطوف کرده اند که ماحصل اين سرمايه‌گذاري ها توليد اختراعات بوده است . در واقع رابطه مستقيمي ميان سرمايه‌گذاري و توليد اختراعات وجود دارد . در نهايت مي توان  هر گونه تغييري در تعداد اختراعات ها را به تغيير ميزان سرمايه‌گذاري در اين حوزه نسبت داد .

 

شکل1 سهم کشورهاي مختلف را از اختراعات هاي ثبت شده در حوزه فناوري نانو نشان مي دهد . البته در اين آمار اختراعات مشترک نيز وجود دارد . مطابق شکل آمريکا با 2/44 درصد بيشترين سهم را در ثبت اختراعات ها داراست . ستاد پيشگامي ملي فناوري نانو آمريكا (NNI) ،  و با اعطاي تسهيلات SBIR، به شركت‌هاي نوپا در عرصه فناوري نانو، نقش موثري را دارا بوده است . اما دليل اصلي اين حجم عظيم از اختراعات هارا بايد در ميزان سرمايه‌گذاري اين کشور در حوزه فناوري نانو جستجو کرد . آمريكا همچنان منبع اصلي سرمايه‌گذاري فناوري نانو در جهان است [1] از كل سرمايه‌گذاري نانو در سال 2005، 96/3 ميليارد دلار (يعني 41 درصد كل) به آمريكاي شمالي مربوط مي‌شود كه بيشتر آن يعني 89/3 ميليارد دلار به ايالات متحده اختصاص دارد يعني 3/40 درصد  از كل سرمايه‌گذاري جهان در حوزه فناوري نانو توسط آمريکا صورت گرفته است و از طرفي مطابق شکل 1 بيش از 44 در صد از اختراعاتهاي ثبت شده متعلق به اين کشور است که اين مويد رابطه تنگاتنگ سرمايه‌گذاري و توليد اختراعات است . علاوه براين قدرتمند بودن قوانين مربوط به حفظ مالکيت فکري در آمريکا نيز موجب تقويت و توسعه فرصت هاي تجاري اين کشور شده و در سايه اين قوانين، ايده ها و انديشه ها به منزله نيروي محرکه موتور پيش برنده اقتصادي در قالب اختراعات ها فرصت رشد و خود نمايي پيدا کرده است .

 پس از آمريكا، آسيا با رقم 37/3 ميليارد دلار در رتبة دوم سرمايه‌گذاري در حوزه فناوري نانو جاي دارد . اين رقم معادل 5/35 درصد از کل سرمايه‌گذاري فناوري نانو دنيا است . سهم کشورهاي آسيايي ازثبت اختراعاتها 32 درصد مي باشد که اين رقم با ميزان سرمايه‌گذاري اين کشورها تناسب دارد . در ميان کشورهاي آسيايي چين با 3/17 بيشترين اختراعات ثبت شده را در حوزه فناوري نانو داراست . حمايت از مراكز عمدة تحقيقاتي (از قبيل مركز ملي تحقيقات مهندسي فناوري نانو شانگهاي) و همچنين حمايت از شركت‌هاي نوپا (مانند شركت Shenzhen Chengyin Technology سازندة نانوذرات) و در کنار آن بهبود قوانين مربوط مالكيت فكري در افزايش اختراعاتها موثر بوده است . همچنين سياست  چيني ها  در نزديک کردن فعاليت‌هاي دانشگاهي و تجاري به هم نيز اين روند را تسريع کرده است .

 از بين كشورهاي جهان غير از آمريكا، ژاپن بيشترين منابع دولتي را صرف فناوري نانو مي‌كند و رشد اين سرمايه‌گذاري با NNI آمريكا برابري مي‌نمايد (اين روند از سال 2001 شروع شده و همچنان ادامه دارد) . اين سرمايه‌گذاري‌ها در نهايت موجب رشد توليد اختراعات در اين کشور شده است به طوري که ژاپن با جمعيتي کم ( در مقايسه با چين و آمريکا) توانسته با 1/9 درصد سومين توليد کننده اختراعات فناوري نانو در جهان باشد .

كل سرمايه‌گذاري فناوري نانو در اروپا كمتر از نصف سرمايه‌گذاري آمريكا و دو سوم سرمايه‌گذاري کشورهاي آسيايي است . همين مسئله با عث شده است تا در توليد اختراعات، کشورهاي اروپايي در رده پايين تري نسبت به رقباي آمريکا و آسيايي خود باشند . عامل ديگر کاهش توان کشورهاي اروپايي در توليد اختراعات در حوزه نانو به نوع سرمايه‌گذاري آنها مربوط است . مطابق آمار ارائه شده توسط کميسيون اروپا بيشتر سرمايه‌گذاري کشورهاي اروپا توسط بخش دولتي انجام گرفته است . با توجه به اين که سرمايه‌گذاري دولتي بيشتر در حوزه تحقيقات بنيادي است ، از اين نوع سرمايه‌گذاري کمتر انتظار توليد اختراعات مي رود . اين در حالي است که در آمريکا و آسيا بخش خصوصي سرمايه گذار اصلي در حوزه فناوري نانو است . بالا بودن راندمان در سرمايه‌گذاري بخش خصوصي باعث گرديده آمريکا و کشورهاي آسيايي در رقابت با همتايان اروپايي خود در توليد اختراعات يک گام جلوتر باشند و کشورهاي اروپايي نتوانند متناسب با سرمايه‌گذاري خود اختراعات توليد کنند . علاوه­ براين حوزة تمركز سرمايه‌گذاري‌ها در اروپا بيشتر متوجه تحقيقات دانشگاهي است و نقش سرمايه‌هاي هدفمندي كه بايد صرف تجاري‌سازي ‌شود، در اين نقطه نسبت به آسيا و آمريكا كمتر است . در ميان کشورهاي اروپايي آلمان با 9/8 درصد و فرانسه با 7/4 درصد بيشترين سهم را در توليد اختراعات دارند .

آلمان با توجه به در اختيار داشتن حدود 57 مركز دانشگاهي تحقيقاتي فناوري نانو بيشترين ميزان سرمايه‌گذاري ملي فناوري نانو را در سطح اروپا دارد . علاوه بر اين، بخشي از هزينه‌هاي فناوري نانو آلمان، به حمايت از توسعه اقتصادي شركت‌هاي نوپا اختصاص دارد . در اين بين سرمايه‌گذاري‌هاي آلمان به حدي رسيده كه با سرمايه‌گذاري‌هاي NNI آمريكا برابري مي‌كند . طي اوايل اين دهه، سرمايه‌گذاري‌هاي دولت فرانسه در فناوري نانو از رشد ثابتي برخوردار بوده اما تحقيقات فناوري نانو بيشتر جنبه دانشگاهي دارد؛ شركت‌هاي از كمك‌ها و تسهيلات حمايتي دولت (از قبيل امكان استفاده از OMNT موجود در مركز گرنوبل) بهره‌مند مي‌شوند که اين امر در رشد توليد اختراعات در اين کشور موثر بوده است .

 

شکل 2 تعداد اختراعات هاي ثبت شده در حوزه فناوري نانو را طي سالهاي2000 تا 2006 نشان مي‌دهد . همانطور که ملاحظه مي شود طي اين بازه زماني روند ثبت اختراعات سير صعودي داشته است و هنوز در دوران شکوايي است . با توجه به زمان مورد نياز جهت ثبت اختراعات (12 تا 18 ماه)، کم­تر بودن تعداد اختراعاتهاي سال 2006 نسبت به 2005 ممکن است واقعي نباشد . همان طور که ملاحظه مي شود رشد قابل ملاحظه در تعداد اختراعات ها بعد از سال 2003 ديده مي شود که اين مسئله نشان دهنده ورود فناوري نانو به دوره بلوغ خود مي باشد . در واقع کشورها با پشت سر گذاشتن دوران تحقيقات بنيادي در حال وارد شدن به مرحله بهره برداري از اين فناوري هستند . از سوي ديگر رشد سرمايه‌گذاري نيز در اين امر موثر بوده به طوري که بين سال 2004 تا 2005 کل سرمايه‌گذاري جهان در بخش تحقيق و توسعه در حوزه فناوري نانو 10 درصد رشد داشته است که اين مسئله با رشد 14 درصدي تعداد اختراعات متناسب مي­باشد .

 ****

شکل3 سهم عناصر پايه مختلف را از اختراعات هاي ثبت شده طي سالهاي 2000تا 2011 نشان مي دهد . نانولوله هاي کربني بيشترين سهم را در اختراعاتها دارا هستند که اين نشان دهنده پتانسيل بالاي آنها و همچنين نزديک شدن اين دسته از نانو مواد به تجاري شدن است . خواص الکتريکي و مکانيکي منحصر به فرد نانولوله و امکان به کارگيري آنها در صنعت الکترونيک وکامپيوتر و همچنين استفاده از آنها در کامپوزيت ها يکي از دلايل محبوبيت آنها مي باشد . مهم‌ترين فاكتوري که كه باعث برگزيدن نانولوله به عنوان مواد تقويت کننده در كامپوزيت شده است، وزن كم آن و در عين حال استحكام کششي بالاي آنها است . پس از آن فولرين­ها بيشترين سهم را دارا هستند .  فولرين از نظر فيزيکي مولکول‌هايي بيش از حد، قوي هستند و برعکس نانولوله­ها قادرند فشارهاي بسيار زياد را تحمل کنند، به طوري كه حتي پس از تحمل 3000 اتمسفر فشار به شکل اوليه خود برمي‌گردند . به نظر مي‌رسد استحکام فيزيکي آنها در بخش مواد داراي توان بالقوه‌اي باشد . با اين حال آنها مثل نانولو‌له‌ها به جاي پيوند شيميايي، با نيروهاي بسيار ضعيف‌تري (نيروهاي واندروالس) به هم مي‌چسبند، که مشابه نيروهاي نگهدارندة لايه‌هاي گرافيت است . اين مسأله موجب مي‌شود باکي‌بال‌‌ها مثل گرافيت داراي قابليت روان‌کنندگي شوند؛ نانو ذرات سومين دسته از مواد مهم در اختراعات هاي ثبت شده مي باشند . سهولت توليد و کاربرد و امکان تبديل بسياري از فلزات به نانوذره از دلايل به کارگيري اين دسته از مواد در اختراعاتها مي باشد .

نانو تکنولوژی در صنعت نفت:

فناوري نانو مي­تواند اثرات قابل توجهي در صنعت نفت داشته باشد، در مطلب زير بعد از اشاره به برخي از اين تأثيرات، تعدادي از كاربردهاي فناوري نانو در صنعت نفت بويژه در بحث آلودگي محيط زيست و نيز سنسورهاي نانو به طور مختصر معرفي گرديده است:

مقدمه: هنگامي كه ريچارد اسملي ( Richard Smally ) برندة جايزة نوبل، بالك مينسترفلورسنس را در سال 1985 در دانشگاه رايس كشف نمود،‌ انتظار اندكي داشت كه تحقيق او بتواند صنعت نفت را متأثر سازد . سازمان انرژي آمريكا ( DOE ) سرمايه‌گذاري خود را در قسمت فناوري نانو با 62 درصد افزايش داد تا مطالعات لازم در زمينة‌ موادي با نام‌هاي باكي‌بال‌ها ( Bulky Balls ) و باكي‌تيوب‌ها ( Bulky Tubes )‌ استوانه‌هاي كربني كه داراي قطر متر مي‌باشند صورت گيرد . نانولوله‌هاي كربني با وزني در حدود وزن فولاد، صد برابر مستحكم ­ تر از آن بوده، داراي رسانش الكتريكي معادل با مس و رساني گرمايي هم ارز با الماس مي‌باشند . نانوفيلترها مي‌توانند به جداسازي مواد در ميدان‌هاي نفتي كمك كنند و كاتاليست‌هاي نانو مي‌توانند تأثير چندين ميليارد دلاري در فرآيند پالايش به‌دنبال داشته باشند . از ساير مزاياي نانولوله‌هاي كربني مي‌توان به كاربرد آن‌ها در تكنولوژي اطلاعات (‌ IT ) نظير ساخت پوشش‌هاي مقاوم در مقابل تداخل‌هاي الكترومغناطيسي، صفحه‌هاي نمايش مسطح، مواد مركب جديد و تجهيزات الكترونيكي با كارآيي زياد اشاره نمود .

علم نانو يك تحول بزرگ در مقياس بسيار كوچك بسياري از محققان و سياستمداران جهان معتقدند كه علم نانو مي‌تواند تحولات اساسي در صنعت جهاني ايجاد نمايد صنعت نفت نيز از پيشرفت اين تكنولوژي بهره‌مند خواهد گشت . علم نانو مي‌تواند به بهبود توليد نفت و گاز با تسهيل جدايش نفت وگاز در داخل مخزن كمك نمايد . اين كار با درك بهتر فرآيندها در سطوح مولكولي امكانپذير مي‌باشد . با توجه به اينكه نانو مربوط به ابعادي در حدود متر مي‌باشد، نانوتكنولوژي به مفهوم ساخت مواد و ساختارهاي جديد توسط مولكول‌ها و اتم‌ها در اين مقياس مي‌باشد . خوشبختانه كاربردهاي عملي نانو در صنعت نفت جايگاه‌ ويژه‌اي دارند . نانوتكنولوژي ديدگاه‌هاي جديد جهت استخراج بهبوديافتة نفت فراهم كرده است . اين تكنولوژي به جدايش موثرتر نفت و آب كمك مي‌كند . با افزودن موادي در مقياس نانو به مخزن مي‌توان نفت بيشتري آزاد نمود . همچنين مي‌توان با گسترش تكنيك‌هاي اندازه‌گيري توسط سنسورهاي كوچك،‌ اطلاعات بهتري دربارة مخزن بدست آورد .

**مواد نانو:**

صنعت نفت تقريباً در تمام فرآيندها احتياج به موادي مستحكم و مطمئن دارد . با ساخت موادي در مقياس نانو مي‌توان تجهيزاتي سبكتر، مقاومتر و محكم‌تر از محصولات امروزي توليد نمود . شركت نانوتكنولوژي GP در هنگ‌كنگ يكي از پيشگامان توسعة كربيد سيليكون، يك پودر سراميكي در ابعاد نانو مي‌باشد .

با استفاده از اين پودرها مي‌توان مواد بسيار سختي توليد نمود . اين شركت در حال حاضر مشغول مطالعه و تحقيق بر روي ساير مواد مركب مي‌باشد و معتقد است كه مي‌توان با نانوكريستال‌ها تجهيزات حفاري بادوامتر و مستحكم‌تري توليد كرد . همچنين متخصصان اين شركت يك سيال جديد حاوي ذرات و نانوپودرهاي بسيار ريز توليد نموده‌اند كه به‌طور قابل توجهي سرعت حفاري را بهبود مي‌بخشد . اين مخلوط آسيب‌هاي وارده به ديوارة مخزن در چاه را حذف نموده و قابليت استخراج نفت را افزايش مي‌بخشد .

**آلودگي:**

آلودگي توسط مواد شيميايي و يا گازهاي آلاينده يك مبحث بسيار دشوار در توليد نفت و گاز مي‌باشد . نتايج بدست‌آمده از تحقيقات دانشمندان حاكي از آن است كه نانوتكنولوژي مي‌تواند تا حد مطلوبي به كاهش آلودگي كمك كند . در حال حاضر فيلترها و ذراتي با ساختار نانو در حال توسعه مي‌باشند كه مي‌توانند تركيبات آلي را از بخار نفت جدا سازند . اين نمونه‌ها عليرغم اينكه اندازه‌اي در حدود چند نانومتر دارند، داراي سطح بيروني وسيعي بوده و قادر به كنترل نوع سيال گذرنده از خود مي‌باشند . همچنين كاتاليست‌هايي با ساختار نانو جهت تسهيل در جداسازي سولفيد هيدروژن، آب، مونوكسيدكربن، و دي‌اكسيد كربن از گاز‌طبيعي در صنعت نفت بكار گرفته مي‌شوند . در حال حاضر مطالعاتي بر روي نمونه‌هايي از خاك رس در ابعاد نانو و جهت تركيب با پليمرهايي صورت مي‌پذيرد كه بتوانند هيدروكربن‌ها را جذب نمايند . بنابراين مي‌توان باقيمانده‌هاي نفت را از گل حفاري جدا نمود .

**سنسورهاي هيدروژن خود تميزكننده:**

خواص فوتوكاتاليستي نانوتيوب‌هاي تيتانيا در مقايسه با هر فرمي از تيتانيا بارزتر مي‌باشد، بطوري‌كه آلودگي‌هاي ايجادشده تحت تابش اشعة ماوراء بنفش به‌طور قابل توجهي از بين مي‌روند . تا اينكه سنسورها بتوانند حساسيت اصلي خود نسبت به هيدروژن را حفظ نمايد . تحقيقات انجام‌گرفته در اين زمينه حاكي از آن است كه نانوتيوب‌هاي تيتانيا داراي يك مقاومت الكتريكي برگشت‌پذير مي‌باشند، بطوري‌كه اگر هزار قطعه از آن‌ها در مقابل يك ميليون‌ اتم هيدروژن قرار بگيرند، مقاومت الكتريكي آن در حدود يكصد ميليون درصد افزايش مي‌يابد .

سنسورهاي هيدروژن بطور گسترده‌اي در صنايع شيميايي، نفت و نيمه‌رساناها مورد استفاده قرار مي‌گيرند . از آنها جهت شناسايي انواع خاصي از باكتري‌هاي عفونت‌زا استفاده مي‌گردد . به‌ هر حال محيط‌هايي نظير تأسيسات و پالايشگاه‌هاي نفتي كه سنسورهاي هيدروژن از كاربردهاي ويژه‌اي برخوردار مي‌باشند، مي‌توانند بسيار آلوده و كثيف باشند اين سنسورهاي هيدروژن نانوتيوب‌هاي تيتانيا هستند كه توسط يك لاية غيرپيوسته‌اي از پالاديم پوشانده شده‌اند . محققان اين سنسورها را به مواد مختلفي نظير اسيد استريك ( يك نوع اسيد چرب )‌، دود سيگار و روغن‌هاي مختلفي آلوده نمودند و سپس مشاهده كردند كه تمام اين آلوده‌كننده‌ها در اثر خاصيت فوتوكاتاليستي نانوتيوب‌ها از بين مي‌روند . حد نهايي آلودگي‌ها زماني بود كه دانشمندان اين سنسورها را در روغن‌هاي مختلفي غوطه‌ور ساخته و سنسورها توانستند خواص خود را بازيابند . محققان سنسورها را در دماي اتاق به مقدار هزار قطعه در مقابل يك ميليون ‌اتم هيدروژن در معرض اين گاز قرار دادند و مشاهده نمودند كه در طرح‌هاي اولية سنسور مقاومت الكتريكي آن به ميزان 175000 درصد تغيير مي‌كند . سپس سنسورها را توسط لايه‌اي به ضخامت چندين ميكرون از روغن موتور پوشاندند تا بطور كلي حساسيت آن‌ها نسبت به هيدروژن از بين برود . سپس اين سنسورها را در هواي عادي به ‌مدت 10 ساعت در معرض نور ماوراء بنفش قرار دادند و پس از يك ساعت مشاهده نمودند كه سنسورها مقدار قابل توجهي از حساسيت خود را بدست آورده‌ و پس از گذشت 10 ساعت تقريباً بطور كامل به وضعيت عادي خود بازگشتند .

عليرغم قابليت بازگشتي بسيار مناسب اين سنسورها نمي‌توانند پس از آلودگي به انواع خاصي از آلوده‌كننده‌ها حساسيت خود را باز يابند براي مثال روغن WQ -40 به علت دارابودن مقداري نمك خاصيت فوتوكاتالسيتي نانوتيوب‌ها را تا حد زيادي از بين مي‌برد .

با افزودن مقدار اندكي از فلزات مختلف نظير قلع، طلا، نقره، مس و نايوبيم، يك گروه متنوعي از سنسورهاي شيميايي بدست مي‌آيند . اين فلزات خاصيت فوتوكاتاليستي نانوتيوب‌هاي تيتانيا را تغيير مي‌دهند . به هر حال سنسورها در يك محيط غيرقابل كنترل در دنياي واقعي توسط مواد گوناگوني نظير بخار‌هاي آلي فرار، دودة كربن و بخارهاي نفت و همچنين گرد و غبار آلوده مي‌گردند . قابليت خودپاك‌كنندگي اين سنسورها طول عمر آن‌ها را افزايش و از همه مهمتر خطاي آنها را كاهش مي‌دهد .

**سنسورهاي جديد در خدمت بهبود استخراج نفت:**

براساس آخرين اطلاعات چاپ شده توسط سازمان انرژي آمريكا، استخراج نفت در حدود دو سوم از چاه‌هاي نفت آمريكا اقتصادي نمي‌باشد . با توجه به دما و فشار زياد در محيط‌هاي سخت زيرزميني، سنسورهاي قديمي الكتريكي و الكترونيكي و ساير لوازم اندازه‌گيري قابل اعتماد نمي‌باشند و در نتيجه شركت‌هاي استخراج‌ كنندة‌ نفت در تهية ‌اطلاعات لازم و حساس جهت استخراج كامل و مؤثر نفت از مخازن با برخي مشكلات مواجه مي‌باشند .

در حال حاضر محققان در آزمايشگاه فوتونيك دانشگاه صنعتي ويرجينيا در حال توسعة يك‌سري سنسورهاي قابل اعتماد و ارزان از فيبرهاي نوري جهت اندازه‌گيري فشار، دما، جريان نفت و امواج آكوستيك در چاه‌هاي نفت مي‌باشند . اين سنسورها به‌علت مزايايي نظير اندازة كوچك ،‌ايمني در قبال تداخل الكترومغناطيسي ، قابليت كارآيي در فشار و دماي بالا و همچنين محيط‌هاي دشوار، مورد توجه بسيار قرار گرفته‌اند . از همه مهم‌تر اينكه امكان جايگزيني و تعويض اين سنسورها بدون دخالت در فرآيند توليد نفت و باهزينة‌ مناسب فراهم مي‌باشد . در حال حاضر عمل جايگزيني و تعويض سنسورهاي قديمي در چاه‌هاي نفت ميليون‌ها دلار هزينه در پي دارد . سنسورهاي جديد از نظر توليد بسيار مقرون ‌به صرفه بوده و اندازه‌گيري‌هاي دقيق‌تري ارائه مي‌دهند .

انتظار مي‌رود كه تكنولوژي اين سنسورها توليد نفت را با ارائه اندازه‌گيري‌هاي دقيق و قابل اعتماد و كاهش ريسك‌هاي همراه با اكتشاف و حفاري نفت بهبود بخشد . همچنين سنسورهاي جديد به‌علت برخي كاربردهاي ويژه نظير استخراج دريايي و افقي نفت، جايي كه بكاربستن سنسورهاي قديمي در چنين شرايطي بسيار مشكل مي‌باشد، از توجه ويژه‌اي برخوردارند .

**مشكلات مواجه با نانوتكنولوژي:**

يكي از مسائل عمده اي كه با نانوتكنولوژي روبرو مي باشد اين است كه چگونه يك ساختار نانو (قطعه با مقياس نانو) مورد نظر ساخته شود و سپس آنرا در داخل يك سيستم كاملاً عملي قرار دهند بطوريكه با چشم انساني قابل رويت باشد . اين موضوع مستلزم ساخت و توليد يك سطح مشترك بين ساختارهاي (قطعات) ساخته شده در مقياس نانو با ساختارها يا اجسام توليدي در مقياس ميكرومتري ميباشد . يك خط مشي عمومي و متداول عبارتست از استفاده از روش و فرايندي كه اصطلاحاً (top - down meets bottom - up) ناميده ميشود (بالا به پايين يا پايين به بالا بهم مي پيوندند يا برخورد ميكنند) اين روش عبارتست از ساخت ساختار با مقياس نانو با ابزاري كه در مقياس نانو كار ميكنند و سپس سازمان دادن اين ساختارها با روشهاي معين مونتاژ و سوار كردن و سپس ايجاد سطح مشترك با دنيايي كه در مقياس ميكرومتر ميباشد . با استفاده از فرايند ساخت نانو به روش بالا ـ پايين موانع فني بر سر راه اين هدف مقدس و نهايي نانوتكنولوژي وجود دارد . براي مثال روش پايين بالا عموماً كريستال هاي نانو را به ابعاد يك نانومتر توليد مي كند كه ابعادي خيلي كوچك براي روشهاي فعلي ساخت ساختارها يا اجسام با مقياس نانو ميباشد در نتيجه ايجاد سطح مشترك بين كريستال نانو با دنياي خارج از آن بشدت پيچيده و يك فرايند گران قيمت بشمار مي رود يك روش نوين بايد بوجود آيد كه بر اين موانع غلبه يافته و قبل از اينكه بسياري از اجسام و ساختارهاي نانو سينتيك بتوانند بصورت بخشي از جريان اصلي مصارف صنعتي در آيند اين مانع را از بين ببرند .

همچنين بتدريج كه اندازه اجسام نانو بطور روزافزوني نازك تر مي شود سطح جسم بشدت نسبت به حجم كلي جسم افزايش مي يابد و اين موضوع به سود كاربرد و مصارف سطح هاي بزرگ ميباشد ولي براي ساير مصارف اين موضوع كمتر مناسب است براي مثال وقتي كه لوله هاي نانوكربني بكار برده ميشوند داشتن يك سطح بزرگ مورد دلخواه و مناسب نيست زيرا در قطعات الكتريكي مثلاً يك ترانزيستور مصرف مي شوند . اين سطح بزرگ امكان اينكه لايه ها و قشرهاي ناخواسته اي از ملكولها روي آن بچسبند زياد مينمايد و عملكرد الكتريكي آن وسيله و يا قطعه اي را كه با لوله نانو ساخته شده ضعيف مي كند . دانشمندان اين موضوع را بعهده گرفته اند كه قابليت اطمينان بسياري از قطعات و وسايل الكترونيكي كه با ساختارهاي نانو توليد ميشوند افزايش دهند . يكي ديگر از موضوعات مهم مربوط باين واقعيت است كه خواص كريستالهاي نانو بشدت نسبت به ابعاد, تركيب و خواص سطحي آنها بستگي دارند و هرگونه تغيير جزئي منجر به پيدايش خواص فيزيكي شديداً متفاوت خواهد شد . جلوگيري از چنين تغييراتي مستلزم وقت بسيار بالا در توسعه و پيشرفت ساخت و سنتز ساختارهاي نانو ميباشد . فقط زماني ميتوان توليد و تكثير وسايل با ساختار نانو را در يك سطح پيشرفته و رضايت بخش انجام داد كه اين دقت حاصل شود . براي مثال اگرچه لوله هاي نانوكربني را ميتوان تبديل ترانزيستورهاي با كارائي بالا نمود معهذا يك مانع فني قابل توجهي در رابطه با تركيب و ساختمان آنها وجود دارد . لوله هاي نانوكربني در دو نوع ساخته مي شوند يكي متاليك و ديگر نيمه رسانا . از نوع نيمه رسانا ترانزيستور خوبي ساخته ميشود معهذا وقتي كه اين لوله هاي نانو ساخته ميشوند مخلوطي از لوله هاي نانو فلزي و نيمه رسانا با هم درگير شده و لذا ترانزيستورهاي خوبي را بدست نمي‌دهند . دو راه براي حل اين مشكل وجود دارد . يكي پيدا كردن و تهيه روش دقيق سنتتيك فقط براي توليد لوله هاي نافذ نيمه رسانا و ديگري پيدا كردن روشي جهت جدا كردن دو نوع اين لوله ها از همديگر و اكنون در سراسر دنيا براي هر دو روش تحقيقات در حال انجام است .

**تاثير آينده نانوتكنولوژي:**

انتظار ميرود كه نانوتكنولوژي تاثيرات متنوع و متعددي در زمينه هاي اقتصادي, اجتماعي, محيط زيستي و امنيت ملي در بر داشته باشد . در سال 2000 بنياد علمي ملي National Science Foundation شروع به كار با NNI يعني موسسه ملي نانوتكنولوژي نمود تا تاثيرات ممكنه نانوتكنولوژي را متذكر شده و پيشنهاد به حداقل رساندن هرگونه نتجيه غيرمطلوب ناشي از آن را ارائه نمايد . براي مثال, پيشرفتهاي نانوتكنولوژي ممكن است منجر به از بين رفتن بعضي مشاغل گردد . درست مثل توسعه و پيشرفت صنايع اتومبيل سازي كه بازار بسياري از محصولات مختلف كه حمل و نقل آنها توسط دست انجام مي گرفت از بين برد و منجر به از بين رفتن بسياري از مشاغل شد . محصولات دگرگون شده بر مبناي نانوتكنولوژي بطور اجتناب ناپذيري به نتيجه مشابهي منجر خواهد شد . كه در بعضي از صنايع معاصر رخ خواهد داد . يكي از مثالهايي كه براي مشاغل خطرآفرين مي باشد مشاغلي است كه تلويزيون هاي معمولي و متداول را مي سازند . نمايش با كريستال مايع (LCD) و تلويزيون هاي كاملاً مسطح و تلويزيونهايي كه بر مبناي نانوتكنولوژي ساخته مي شود احتمالاً مشاغل فعلي در اين رابطه را متروك خواهند نمود . اين انواع جديد تلويزيون همچنين نويد بالا بردن و بهبود شديد كيفيت تصوير را مي دهند . براي مثال در تلويزيونهاي field - emission كه بر مبناي نانو تكنولوژي ساخته مي شوند هر پيكسل Pixel يعني عنصر تصوير از نوك هاي تيزي يا (نقاط ريز) تركيب شده است كه الكترون را با سرعت خيلي زياد از خود خارج نموده و در يك فاصله كوچك فسفري براي رنگ قرمز, سبز يا آبي مي فرستد .

پيكسل ها درخشان تر بوده و بر خلاف LCDها كه در نور خورشيد وضوح و روشنايي خود را از دست مي دهند . تلويزيون هاي field - emission در نور شديد خورشيد وضوح و روشنايي خود را حفظ مي نمايند . اين تلويزيونها انرژي بسيار كمتري نسبت به تلويزيونهاي معمول و متداول مصرف مي كنند و مي توان آنها را خيلي نازك ساخت حتي كمتر از يك ميليمتر . اگرچه دستگاههاي تجارتي كه در عمل ساخته ميشوند كمي ضخامت و سنگيني بيشتري دارند كه در واقع به خاطر محكمي و پايداري ساختماني آن ميباشد . شركت سامسونگ ادعا مي كند كه نخستين مدل تجارتي بر مبناي لوله هاي نانو منتشر كننده را (Carbon nanotube emitters) در اوايل سال 2004 وارد بازار نمايد . يكي ديگر از مشاغلي كه بالقوه كم خواهد شد صندوق دارهاي سوپرماركتها مي باشند زيرا كامپيوترها قابل انعطاف با فيلم نازك كه در يك بسته بندي پلاستيكي محصولات قرار داده ميشوند در هر يك لحظه كنترل را انجام ميدهد و خروج مشتريان سريعاً انجام ميگردد و مشتريان سوپرماركتها ميتوانند به سادگي كارت خود را از يك درب خروجي بازرسي حركت داده (شبيه سيستم هاي امنيتي مغناطيسي در محل هاي خروج فروشگاهها), معهذا نانوتكنولوژي ميتواند مشاغل جديدي را ايجاد نمايد . تاثيرات اجتماعي ناشي از پيشرفت نانوتكنولوژي در مراقبت هاي بهداشتي متحده آمريكا بخاطر توسعه و پيشرفت نانوتكنولوژي وجود دارد تاثيرات قابل توجه و مهمي در زمينه تامين اجتماعي و برنامه هاي بازنشستگي دارد همانطور كه در زمينه‌هاي بيوتكنولوژي و ژنوميك (genomics) برخي مسيرهاي توسعه و پيشرفت در نانوتكنولوژي هم آثار و علائم اخلاقي مشابه خواهند داشت . اجسام و مواد مقياس نانو همچنان ميتوانند تاثير عكس و سوء بر محيط داشته باشند و مقررات و قوانين مناسبي بايد براي بحداقل رساندن تاثيرات مضر آنها برقرار و اجرا گردد . از آنجا كه اجسام و مواد مقياس نانو با چشم انسان غيرقابل رويت است احتياط هاي فوق العاده اي براي جلوگيري از رها شدن اين ذرات بداخل محيط بايد صورت گيرد .

بعضي از مطالعات و بررسي هاي مقدماتي اشاره به خواص سرطان زائي اينگونه مواد و اجسام مينمايند . اگرچه اين مطالعات بايد مورد تاييد قرار گيرند ولي بسياري از دانشمندان عقيده دارند كه بايد بعنوان احتياط روشها و اقداماتي براي جلوگيري از هرگونه خطر و ضرري كه اينگونه اجسام و مواد مقياس نانو ايجاد مينمايند صورت گيرد . معهذا اكثريت گسترده و عمده محصولات با مبناي نانوتكنولوژي محتوي مواد نانو متصل به ساير تركيبات و مواد مي باشند داراي مواد با اندازه نانو و شناور ـ آزاد هستند و بنابراين چنين خطراتي بوجود نمي آورند . در اين حال پيشرفتهاي نانوتكنولوژي سودمنديهاي محيطي بسياري نيز دارد از قبيل كاهش انتشار مواد آلوده كننده هوا و پاكيزه نمودن لكه ها و اثرات چربي . سطح بزرگ مواد و اجسام نانو يك ظرفيت قابل توجهي براي جذب مواد شيميايي به آنها داده است . قبلاً محققين در آزمايشگاهي بنام Pacific Northwestern National Laboratory در واشنگتن كه بخشي از وزارت نيروي ايالات متحده آمريكا ميباشد . يك ملاط (ماتريكس) متخلخل از سيليس با سطح فعال ويژه اي بكار برده اند تا فلزات جيوه و سرب را از منابع تامين كننده آب (منبع يا لوله) حذف كرده و از بين ببرند . بالاخره انتظار مي رود كه در امنيت ملي و كشوري كاربردهايي دارد كه نانوتكنولوژي ميتواند هم به پيشرفت نيروهاي مسلح كمك نمايد و هم امكان نظارت و كنترل براي صلح و تجهيزات بازرسي را تسهيل كند . تلاشها براي جلوگيري از تكثير و ازدياد سلاحهاي هسته اي و يا شناسايي وجود سلاح هاي بيولوژيكي و شيميايي بعنوان مثال مي توانند توسط ابزار و وسايل نانوتكنولوژي پيشرفت و بهبود حاصل نمايند .

**تحقيقات نانوتكنولوژي:**

مراكز عمده و اصلي تحقيقات تكنولوژي و علم نانو در دانشگاهها و آزمايشگاههاي ملي سراسر جهان يافت ميشوند . بسياري از آنها تخصص شان در موضوعات ويژه اين رشته ميباشد . مراكز نانوالكترونيك و فتونيك يعني مطالعه خواص نور در انستيتوي نانوتكنولوژي Albany نيويورك و دانشگاه Cornell در Ithaca نيويورك و دانشگاه كاليفرنيا در لوس آنجلس (UCLA) و دانشگاه Columbia در شهر نيويورك وجود دارند علاوه بر اين دانشگاه Cornell ميزباني مركز نانوبيوتكنولوژي را نيز عهده دار ميباشد . دانشگاههايي كه در رابطه با مدل هاي مقياس نانو و طراحي مربوطه و ساخت و مونتاژ فعاليت دارند شامل:

Northwestern University in Evanston, Illinois

Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge

University of Pennsylvania in Philadelphia

Rice University in Houston

University of Michigan in Ann Arbor

مطالعه در زمينه مواد نانو در:

University of California, Berkeley

University of Illinois in Urbana - Champaign

 ساير دپارتمان هاي وابسته به دانشگاهها كه در زمينه نانوتكنولوژي فعاليت دارند شامل:

Purdue University, Westla fayetee, Indiana

University of South Carolina NanoCenter, Columbia

تا سال 2011 بيش از 120 دانشگاه در ايالات متحده آمريكا داراي دپارتمان يا بخش ها و انستيتوهاي تحقيقاتي در زمينه تخصص نانوتكنولوژي بوده اند .

در كشورهاي ديگر انستيتوي ماكس پلانك در آلمان و (CNRS) يا مركز ملي تحقيقات علمي در فرانسه و يا انستيتوي ملي علوم پيشرفته صنعتي و تكنولوژي در ژاپن همگي در زمينه نانوتكنولوژي فعاليت تحقيقاتي دارند .

**فصل دوم:**

**روشهای ازدیاد**

**برداشت**

روشهای مختلف ازدیاد برداشت (Enhanced Oil Recovery , E .O .R)
به منظور تكمیل این مبحث لازم است روشهای ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار گیرد . تا جایی كه این موضوع به تولید از مخازن نفت ایران مربوط می‌شود، این روشها را می‌توان به گروههای زیر تقسیم كرد:

تزریق گاز غیرامتزاجی

تزریق گاز امتزاجی

تزریق آب توان یافته

حفاری افقی و بهبود تجهیزات روی زمینی

 **تزریق گاز غیرامتزاجی:**

در این روش انواع مختلفی از گازها مورد استفاده قرار می گیرند، مثل: گاز غنی شده (Rich Gas)، گاز متعادل (Equilibrium Gas)، گاز خشك (Dry Gas)، گاز ازت خالص و ناخالص، هوا، گاز كربنیك (CO2) و غیره؛ ولی بیشتر آزمایشها تقریباً بر روی گاز متعادل، گاز خشك، گاز ازت خالص و ناخالص، دی اكسید كربن و هوا انجام شده است .
می‌توان كلیه موارد فوق را به دو بخش تزریق گاز هیدروكربوری و تزریق گاز غیرهیدروكربوری تقسیم كرد . كه در ادامه خلاصه ای در مورد آنها آورده شده است:

**تزریق گاز هیدروكربوری:**

نفت موجود در مخازن شكاف‌دار در دو بخش شكاف ها (Fracture) و بلوكهای ماتریسی (Matrix Blocks) می باشد . وجود حفره‌ها یا شكافهای كوچك، تقسیم‌بندی جدیدی در بافت مخزن ایجاد نمی‌كند . بدین ترتیب اگر حفره‌های كوچك به شكافهای اصلی متصل باشند، این حفره‌ها نیز جزئی از شكافها محسوب شده و اگر از طریق خلل و فرجها در داخل سنگها متصل باشند جزئی از بلوكهای ماتریسی محسوب خواهند شد .

جا به جا نمودن نفتِ موجود در شكافها، مشكل اصلی نیست؛ زیرا این عمل را می‌توان به وسیلة آب یا گاز انجام داد . مشكل اصلی از آنجا ناشی می‌شود كه بتوان با استفاده از ساز و كارهای لازم، ضریب بازدهی جا به جایی نفت را از بلوكهای ماتریسیِ با نفوذپذیری كم و فشار مویینگی قابل ملاحظه، بالا برد .

تزریق گاز در مخازن به منظور نگهداری یا افزایش فشار مخزن انجام می شود كه موجب كاهش "كشش سطحی" ( Interfacial Tension) نفت و در نتیجه كاهش فشار موئینگی، افزایش ضریب انبساط حجمی نفت و نهایتا كاهش گرانروی نفت مخزن می‌شود، ولی بحثی از تركیب گاز تزریقی مطرح نبوده است . بنابراین گاز تزریقی می‌تواند گاز متعادل با نفت مخزن یا گاز خشك (بیش از 75 درصد متان، C1 )، گاز ازت خالص و یا هوا باشد . در مورد تزریق گازهای غیرمتعادل یا متعادل به مخازن زیر اشباع (Under Saturated) یا تزریق گازهای غیر هیدرو كربوری، به منظور اطمینان از اینكه گازهای مذكور در اختلاط با نفت به علت رسوب آسفالتین، موجب بسته شدن خلل و فرج سنگ مخزن وجلوگیری از جریان نفت نشوند، می‌بایست مطالعات لازم صورت پذیرد .

در جا به جایی نفت با مكانیسم ریزش ثقلی، گاز خشك در مقایسه با گاز غنی شده و گاز متعادل به علت وزن كمتری كه دارد بیشتر به جا به جایی نفت كمك می‌كند اما اثر انبساطی آن كمتر از گاز متعادل یا غنی شده است .

دكتر سعیدی دو فرآیند مخالف را با شبیه‌سازی تركیبی ( Compositional Simulation) و با استفاده از یك بلوك ده فوتی به وسیله مخلوطهای گاز متان خالص تا بیش از 10 درصد پروپان محاسبه كرده است . براساس یافته‌های این تحقیق در یك مخزن نفتی با فشار درونی مشخص، تزریق گاز خشك یا متعادل به لحاظ میزان كشش سطحی نفت از یك طرف و اختلاف وزن مخصوص بین گاز و نفت از طرف دیگر، به نتایج مشابهی منتهی می‌شود . بنابراین بازیافت نفت از طریق تزریق گاز خشك در یك مخزن شكاف‌دار تقریباً به همان اندازه‌ای است كه با تزریق گاز متعادل حاصل می‌شود . این پدیده در مورد مخازنی كه دارای كلاهك گازی هستند بیشتر مصداق دارد .

**جا به جایی دوگانه نفت در مخازن نفتی اشباع شده از آب:**

دكتر سعیدی، این فرآیند تولید را برای اولین بار در سال 1351 پیشنهاد كرد كه عملاً در میدان نفتی هفتكل با موفقیت به انجام رسید و از آن پس نیز در سایر میدانهای نفتی مشابه در جهان از جمله در اندونزی، ایالات متحده آمریكا، خلیج فارس، چین و مكزیك به كار گرفته شد .

از میان مخازن نفتی ایران مخازن مختلفی برای مطالعه انتخاب شدند كه می توان از سازند آسماری اهواز و سازند عرب سلمان به عنوان بهترین گزینه ها برای تزریق گاز نام برد .

در سازند آسماری اهواز یا مارون، چندین لایة شنی وجود دارد كه نفت آنها به وسیله آب با ضریب بازیافت حدود 40 درصد جا به جا شده است . در اثر تزریق گاز در این لایه‌های شنی، ستون آب تا جایی كه ممكن است به پایین رانده می‌شود و از نفت باقیماندة موجود همراه با آب ـ كه در معرض تماس با گاز قرار می‌گیرد ـ حداقل 25 درصد نفت اضافی را می‌توان استخراج نمود .

سازند نفتی عرب در میدان سلمان نیز برای این منظور انتخاب خوبی است . گاز مورد نیاز تزریقی را می‌توان از میدان خوف كه درست زیرسازند نفتی این میدان قراردارد تأمین كرد .

در حقیقت شركتهای توتال ـ فینا ـ‌ الف این فرآیند را در میدان ابوالبخوش (مشترك با میدان سلمان) در طول 10 سال گذشته انجام دادند و روزانه بیش ا ز 100 میلیون فوت مكعب گاز در میدان ابوالبخوش تزریق كردند .
 **تزریق گاز غیرهیدروكربوری:**

به دلیل كمبود گاز هیدروكربوری (عمدتاً به علت استفاده در مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاههای حرارتی) و با توجه به اینكه آب، مایع مناسبی برای تزریق نیست مطالعاتی برای استفاده از گازهای غیرهیدرو كربوری صورت گرفته است .

جایگزین های پیشنهادی، گازهای ازت خالص، ازت ناخالص، هوا و گاز كربنیك است . تزریق هر یك از این گازها دارای مزایا و معایبی است كه مهمترین آنها به شرح زیر است:

الف ـ قیمت گاز ازت خالص یا ناخالص از قیمت گاز هیدروكربوری كمتر است . هزینة تهیه گاز ازت خالص حدود 50 سنت آمریكایی و هزینه گاز ازت ناخالص حدود 35 سنت برای هر هزار فوت مكعب می باشد .
ب ـ در حالت تزریق با تركیب هوا و گاز ازت، درجه حرارت مخزن به میزان قابل ملاحظه‌ای بالا می‌رود . این امر نه تنها باعث تزریق حجم كمتری گاز در مخزن می‌شود بلكه میزان گرانروی نفت را نیز كاهش می‌دهد و كاهش گرانروی به فرآیند جریان ریزش ثقلی و شاخص بهره‌دهی چاه كمك می‌كند . از طرف دیگر گاز كربنیكِ تولید شده باعث كاهش آثار منفی گاز ازت در بازیافت نفت می‌شود .

ج ـ یكی از مهمترین معایب تزریق گاز ازت، كاهش حجم نفت (Shrinkage) و در نتیجه پایین آمدن ضریب انبساط حجمی نفت بر اثر تبخیر تركیبات سبك نفت است . این مورد به ویژه در مخازن شكاف‌دار به نحو مؤثرتری رخ می‌دهد و همچنین گاز موجود در كلاهك گازی را شدیدا آلوده می نماید .

**برخی از مسائل اصلی در مطالعات آزمایشگاهی تزریق گاز ازت عبارت‌اند از:**

1 . مطالعاتی در مورد تزریق گاز در نمونه سنگهای تك تخلخلی با تراوایی‌های متفاوت انجام گرفته، لیكن در مورد مخازن شكاف‌دار هنوز مطالعاتی انجام نشده است . در مخازن شكاف‌دار گاز تزریقی در درون شكافها جریان پیدا كرده و بلوكهای ماتریسی را احاطه می‌كند، بنابراین گاز تزریقی نسبت به زمانی كه سنگ مخزن را احاطه و نفت موجود در بلوكها را جابجا می كند سطح به مراتب بیشتری را نیز نسبت به مخازن تك تخلخلی در بر می گیرد .
2 . در مخازن شكاف‌دار، گاز ازت تزریقی، جایگزین گاز موجود در بلوكهای ماتریسی می‌شود . این جا به جایی از طریق دو فرایند انتشار گاز و جریان ریزش ثقلی بین دو گاز صورت می‌گیرد .
3 . در بسیاری از مخازن، آثار تزریق گاز ازت به داخل كلاهك گازی، مطالعه نشده است .انجام این مطالعات در مخازن شكافدار، نتایجی متفاوت در مقایسه با مخازن تك تخلخلی خواهد داشت .
4 . هنگامی كه گاز ازت تزریقی با نفتِ موجود در بلوكهای ماتریسی مخلوط می‌شود درصد زیادی از تركیبات سبك نفت مخزن تبخیر می‌شود . نتیجة این امر شور رفتن نفت مخزن، افزایش گرانروی نفت، افزایش كشش سطحی (I .F .T) بین گاز و نفت و آثار منفی دیگر است . این آثار منفی در حالت وجود نفتِ سبك در مخزن و یا در فشار بالای مخزن، جدی‌تر می‌شود .
5 . تبخیر تركیبات سبك نفت باعث تولید نفت سنگین‌تر می‌شود .

6 . پس از تزریقِ حجم قابل ملاحظه‌ای گاز ازت در مخزن، گاز كلاهك مخزن، قابل استفاده برای فروش نیست مگر آنكه گاز ازت اضافی آن حذف شود . جدا نمودن گاز ازت از گازهای هیدروكربوری با استفاده از روش جذب و یا سرد كردن، معمول‌ترین روش موجود می‌باشد .
7 . بیشتر مخازن نفتی ایران دارای آسفالتین است . در صورتی كه تركیبی از گاز ازت با نفت مخزن باعث رسوب آسفالتین شود، تزریق گاز ازت به عنوان گاز تزریقی بسیار خطرناك است .

**تزریق هوا یا تزریق گاز ازت غیرخالص:**

تجارب آزمایشگاهی نشان داده است كه تزریق هوا در یك قطعه سنگ مرتفع تماماً جذب می‌شود . به بیان دیگر، اكسیژن موجود در هوا در طول كار آزمایشگاهی تولید نمی‌شود . لذا در صورتی كه به جای تزریق گاز ازت خالص، از تزریق هوا كه دارای مزایای گوناگونی است استفاده شود- به ویژه در مخازنی كه حاوی نفت سنگین‌تری هستند- می‌توان از مزایایی به شرح زیر بهره‌مند شد:

الف ـ وجود اكسیژن هوا در مخزن موجب سوختن تدریجی مقداری نفت می‌شود و درجه حرارت مخزن را بیش از 100 درجة سانتیگراد بالا می‌برد . این افزایشِ درجه حرارت، بستگی به میزان اكسیژن تزریقی دارد .

ب ـ به دلیل افزایش درجه حرارت مخزن، به حجم گاز كمتری برای تزریق نیاز است .
ج ـ افزایش درجه حرارت در مخزن، گرانروی نفت را كاهش می‌دهد و در نتیجه، فرآیند جریان نفت از بلوكهای ماتریسی و شاخص بهره‌وری چاهها را بهبود می بخشد .
د ـ فرآیند سوختن نفت، گاز كربنیك (CO2) ایجاد می‌كند . این گاز تا حدودی آثار منفی گاز ازت را كه در بالا به آن اشاره شد، كاهش می‌دهد . گاز كربنیك از دو منبع تولید می‌شود؛ یكی از سوختن نفت در درجه حرارت به نسبت پایین و دیگری از تأثیر حرارت حاصل بر روی سنگ آهك مخزن .

هـ ـ تزریق هوا در مقایسه با گاز، هزینة بسیار پایینی دارد .

**تزریق گاز امتزاجی:**

اصلی‌ترین معیار افزایش بازیافت نفت از بلوكهای ماتریسی مخازن، تقلیل كشش سطحی بین گاز تزریقی و نفت مخزن است . در اثر این فرآیند، ممكن است نفت مخزن متورم شود . به بیان دیگر، از وقتی كه كشش سطحی بین نفت و گاز تزریقی در داخل بلوكهای ماتریسی، بسیار كم شود می‌توان به دنبال فرآیند امتزاجی گاز در مخازن بود . اما جا به جایی امتزاجی در مخازن شكاف‌دار، تنها در صورتی ممكن است كه مایع تزریقی، توانایی ممزوج شدن كامل( First Contact Miscibility) با نفت را داشته باشد . در غیر این صورت، هنگامی كه در یك بلوك ماتریسیِ نفتی، عمل امتزاج در بخش بالایی آن صورت گیرد، میزان گرانروی نفت در آن قسمت، كمتر از میزان گرانروی در بخش پایینی آن خواهد شد . در چنین وضعیتی، در قسمت بالای بلوك ـ كه گرانروی كمتری دارد ـ نفت به جای حركت در جهت عمودی، از قسمتهای جانبی بلوك جریان می‌یابد، در اثر این امر، امكان ادامه فرآیند امتزاجی از بین می‌رود .
در این حالت در صورتی كه معادل 80 درصد حجم مخزن با مخلوطی از C3 –C6 به مدت 20 سال در مخزن تزریق شود می‌توان 90 درصد نفتِ درجا را تولید كرد . به طوری كه ملاحظه می‌شود این فرآیند بازیافت نفت، بسیار گران است و اجرای آن در مخازن شكاف‌دار از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، زیرا C3 –C6 ارزشی بالاتر از قیمت نفت خام دارد .
در مخازنی كه دارای فشار اولیة بالایی هستند، نظیر میدان آغاجاری با فشار اولیه psi 3650 و دارای كشش سطحی بین گاز همراه و نفت در حدود 2 دین بر سانتیمتر است، بازیافت نفت به تبع تزریق گاز غنی‌تر، كمی بیش از گاز تعادلی خواهد بود .

بنابراین با صرفه‌ترین فرآیند اجرایی برای بازیافت نفتِ بیشتر از بلوكهای ماتریسی، تزریق گاز غیرامتزاجی است .

برای تزریق گاز غیرامتزاجی، گاز هیدروكربور یا گازهای ناخالص هیدروكربوریِ موجود در استان را می‌توان مورد استفاده قرار داد . در این صورت با توجه به گاز مورد نظر و امكانات مالی، تزریق گاز به مخازن مختلف نفتی كشور از اولویتهای عمومی زیر پیروی می‌كند:

الف ـ در مخازن اشباع نشده عمل تزریق باید تا جایی كه ممكن است در فشار بالاتر انجام شود؛ زیرا این مخازن در مقایسه با مخازنِ دارای كلاهكهای گازی،در اثر انبساط نفت(Oil Swelling) در امر ازدیاد برداشت به نحو موثرتری اثر خواهد گذاشت ضمن آنكه به حجم گاز تزریقی كمتری برای همان میزان بازیافت نفت نیاز است . گاز مورد نیاز جهت استحصال یك بشكه نفت در این مخازن در فشار ثابت، بطور متوسط حدود 2500 فوت مكعب است .

ب ـ در مخازنی كه در حال تخلیة طبیعی(Natural Depletion) هستند، لازم است برای رسیدن به فشار اولیه، حجم گاز لازم در آنها تزریق شود . این نوع مخازن نیاز به حجم بیشتری گاز جهت استخراج یك بشكه نفت دارند .

ج ـ در مخازنی كه در حال تخلیه طبیعی هستند و از كلاهك گازی بزرگی نیز برخوردارند، در صورتی كه قرار شود فشار این مخازن به فشار اولیه برسد، به حجم بیشتری از گاز نسبت به حالت ب جهت استخراج یك بشكه نفت نیاز است .

د ـ اجرای فرایند جابجایی دوگانه ( Double Displacement Process) در مخازنی كه سطح آب در لایه‌های آنها به میزان قابل ملاحظه‌ای بالا آمده است .

در صورتی كه گازهای هیدروكربوری به میزان كافی و لازم در دسترس نباشد، می‌توان نخست در مورد استفاده از گازهای هیدروكربوری ناخالص، و سپس استفاده از هوا ، گاز ازت، گاز كربنیك و غیره جهت تزریق اندیشید .

**تزریق آب توان یافته( Enhanced Water Injection):**

همان گونه كه اشاره شد نتایج ورود تدریجی آب به مخزن یا تزریق آن به مخازنِ مختلف نفتی تحت بهترین شرایط و همچنین انجام جا به جایی سه فازی در مغزه‌های كوتاه و بلند، نشان داده است كه میزان بازیافت نفت از روشهای فوق در مقایسه با تزریق گاز تحت وضعیت ریزش ثقلی، كمتر است .

برای افزایش توانایی آب برای بهبود جا به جایی نفت در مخازن شكاف‌دار، حلالهای مختلفی را می‌توان به آب اضافه كرد كه كشش سطحی بین آبِ توان یافته با نفت موجود در سنگ مخزن را تقلیل دهد . عموم افزودنیهای حلال در آب در حالی می‌توانند مؤثر باشند كه آب موجود در مخزن، حاوی نمك بسیار پایین باشد . آبهای عموم مخازن نفتی ایران دارای نمك اشباع شده در حد بیش از ppm 300000 است . این ویژگی مخازن ایران، كاربری این نوع حلالِ افزودنی شناخته شده را در این زمینه، تقریباً غیر اقتصادی می نماید . علاوه بر این، پایین بودن درصد تخلخلِ سنگهای مخازن نفتی ایران، مقدار قابل توجهی از افزودنیهای حلال را جذب می‌كند و این امر موجب تقلیل اثر مواد افزودنی می‌شود . به علاوه، این مواد افزودنی تقریباً گران هستند . به دلایل فوق این فرآیند نمی‌تواند برای مخازن شكاف‌دار ایران كاربری مؤثری داشته و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد .

بنابراین در پاسخ به اصلی‌ترین سؤال یعنی چگونگی تزریق در مخازن ایران می‌توان گفت بهترین سیال برای تزریق در میدانهای نفتی ایران گازهای هیدروكربوری یا گازهای هیدروكربور ناخالص است . از گازهای هیدروكربوری ناخالص كه در مخازن استان ایلام موجود است می‌توان برای تزریق در مخازن مناسب نفتی استفاده كرد .

**حفاری افقی و بهبود تجهیزات روی زمینی:**

روشهای كمكی دیگری برای اصلاح بازیافت نفت از مخازن وجود دارد این روشها معمولاً برای حالات خاص طراحی شده‌‌اند و به شرح زیر دسته‌‌بندی می‌شوند:

الف ـ حفاری افقی: این روش حفاری در مخازن شكاف‌دار با ضخامت ستون نفتیِ كمتر از حدود 200 فوت كاربرد دارد . همچنین می‌تواند در مخازن شنی یا ماسه‌ای با لایه‌های نازك به افزایش تولید نفت نیز كمك كند و یا اینكه تولید نفت از یك سازند با نفوذپذیری پایین را بهبود بخشد . به عنوان نمونه‌ای برای اینگونه سازندها، می‌توان سازند بنگستان مخزن بینك و قسمتی از سازند آسماری بی بی حكیمه را نام برد .

ب ـ در مخازن تك تخلخلی، هنگامی كه ضخامت نفت در مخزنی از بالا به وسیله گاز و یا از پایین به وسیله آب به علت مخروطی شدن(Coning) همراه با افت تولید می باشد با استفاده از چاههای افقی می‌توان اثر مخروطی شدن را به میزان وسیعی كاهش داد .

 **بهبود تجهیزات روی زمینی:**

اضافه كردن یا توسعه دادن تجهیزاتِ نمك‌زدایی جهت به كارگیری چاههایی كه میزان آب همراه آنها بالاست، یا مخازنی كه شكافهای كمتری دارند و نوسازی سایر دستگاهها می‌تواند میزان تولید نفت از چاهها را افزایش دهد و محتملاً از افت میزان تولید روزانه آنها تا حدِ قابل ملاحظه ای جلوگیری نماید و به عبارت دیگر جایگزین حفر چاه های جدید شود .لذا بهبود تاسیسات روی زمینی درمقایسه با حفر چاه جدید دارای توجیه اقتصادی مناسبی است .
1 . در جا به جایی نفت با مكانیسم ریزش ثقلی، گاز خشك در مقایسه با گاز غنی شده و گاز متعادل، به علت وزن كمتری كه دارد به جا به جایی نفت كمك بیشتری كرده، اما اثر انبساطی آن كمتر از گاز متعادل یا غنی شده است .

2 . نتایج آزمایشهای دكتر سعیدی نشان داد كه بازیافت نفت از طریق تزریق گاز خشك در یك مخزن شكاف‌دار، تقریباً به همان اندازه‌ای است كه با تزریق گاز متعادل حاصل می‌شود . این پدیده در مورد مخازنی كه دارای كلاهك گازی هستند مصداق بیشتری دارد .
3 . می‌توان از سازند‌های آسماری اهواز، مارون و عرب سلمان به عنوان نمونه‌هایی مناسب برای تزریق گاز نام برد كه از طریق فرایند جا به جایی دو گانه نفت در مخازن، می‌‌توان نفت باقی مانده را همراه با آب استحصال كرد .

4 . از گازهای هیدروكربوری نمی‌توان به مقدار زیاد در تزریق استفاده نمود(به علت مصارف بالا در بخشهای خانگی، صنعتی و نیروگاههای حرارتی) .به همین دلیل باید از گازهای غیر هیدروكربوری مثل ازت خالص و ناخالص، هوا و گاز كربنیك استفاده نمود .

5 . در صورتی كه تركیبی از گاز ازت با نفت مخزن باعث رسوب آسفالتین شود، تزریق گاز ازت بسیار خطرناك می‌باشد .

6 . فرایند بازیافت نفت از طریق تزریق گازهای امتزاجی بسیار گران بوده و مقرون به صرفه نیست .

7 . در صورتیكه گازهای هیدروكربوری به میزان كافی و لازم در دسترس نباشد، می‌توان نخست در مورد استفاده از گازهای هیدروكربوری ناخالص و سپس در مورد استفاده از هوا، گازت ازت و گاز كربنیك جهت تزریق اندیشید .

8 . آبهای عموم مخازن ایران دارای نمك اشباع شده در حد بیش از ppm 105×3 هستند و این خاصیت كاربری حلالهای افزودنی به آبها را جهت تزریق از بین می‌برد . همچنین به علت پایین بودن درصد تخلخل مخازن ایران مواد افزودنی جذب سنگ مخزن شده و كارایی آن كاهش می‌یابد و به دلیل گران بودن مواد افزودنی عملیات تزریق آب در مخازن نفتی ایران غیر اقتصادی می‌باشد .

9 . بهترین سیال برای تزریق به مخازن نفتی، گازهای هیدروكربوری یا گازهای هیدروركربوری ناخالص می‌باشد .

روش‌هاي حرارتي ازدياد برداشت از مخازن نفت:

يكي از مسائلي كه با توجه به كاهش فشار و نوع نادر مخازن نفت كشور (كربناته شكافدار و ساختارهاي نفت سنگين) بايد مورد توجه قرار گيرد، انتخاب روش صحيح ازدياد برداشت است . يكي از اين روشها، روش حرارتي است . در اين تحليل برخي از ابعاد اين روش را بررسي خواهيم كرد:

از مهمترين راه‌هاي ازدياد برداشت از مخازن نفت، استفاده از روش‌هاي حرارتي است . در اين روش‌ها با استفاده از انرژي حرارتي، برخي از خصوصيات سنگ و سيال را تغيير مي‌دهند و خروج نفت از مخزن را تسهيل مي‌كنند .

انواع روش‌هاي حرارتي ازدياد برداشت

به طور كلي، روش‌هاي حرارتي ازدياد برداشت را مي‌توان به دو دسته تقسيم كرد .

-1 ايجاد حرارت در مخزن با سوزاندن بخشي از نفت: اين عمل با تزريق گاز داراي اكسيژن، حفر چاه‌هاي تزريقي معين و ايجاد يك جبهه آتش پيش‌رونده صورت مي‌گيرد . البته براي ايجاد اين حرارت روش‌هاي متفاوتي پيشنهاد شده است؛ ولي تنها در روش‌هايي كه از گاز اكسيژن‌دار استفاده مي‌شود، جبهة آتش در يك جهت حركت مي‌كند و مي‌توان به نتيجة مطلوب رسید

 - توليد حرارت در خارج مخزن و تزريق سيال گرم به عنوان عامل جابه‌جا كننده: اين روش شامل تزريق بخار و آب به صورت مرحله‌‌اي و متناوب (تزريق چرخشي يا متناوب) و يا تزريق بخار به‌طور ممتد مي‌باشد .



مكانيزم‌هاي توليد نفت در بازيافت حرارتي از مخزن

افزايش درجه حرارت، بر روي خواص فيزيكي سيالات و همچنين تاثيرات متقابل سنگ و سيال، اثرمي‌گذارد . مكانيز‌م‌هاي اصلي ناشي از اين تأثيرات كه به توليد نفت منجر مي‌شوند، تند از:

 1 .كاهش ويسكوزيته خصوصاً در مورد نفت‌هاي سنگين

 2 .ميزان ترشوندگي سنگ تغيير پيدا مي‌كند؛ تمايل به ترشوندگي توسط آب در درجه حرارت بالا افزايش مي‌يابد .

3 .كشش سطحي بين نفت و آب با افزايش درجه حرارت كاهش پيدا مي‌كند

 4 .انبساط حرارتي باعث مي‌شود كه سيال موجود در خلل و فرج سنگ به بيرون تراوش پيدا كند؛ در اين حالت، چون انبساط حرارتي نفت خصوصاً نفت‌هاي سبك كمتر از آب است، در ابتدا نفت خارج مي‌شود .

 5 . نفت‌هاي سبك تبخير مي‌شوند .

**روش تزريق بخار آب**:

اين روش در چاه‌هايي به كار برده مي‌شود كه داراي نفت سنگين با ويسكوزيته بالا هستند . از اين روش كه در اواخر دهه پنجاه ميلادي كاربرد زيادي داشته است، بيشتر در كاليفرنيا و ونزوئلا استفاده مي‌شود؛ زيرا در اين مناطق نفت سنگين بيشتري نسبت به ساير نقاط دنيا زيادي وجود دارد .

عاملي كه در روش تزريق بخار بايد كنترل ‌شود، سرعت تزريق است؛ سرعت تزريق بايد به صورتي باشد كه فرصت كافي براي تبادل حرارتي بخار و نفت وجود داشته باشد تا شيب‌ دمائي درون نفت ايجاد گردد . علاوه بر آن، بايد به فاصله بين مخزن و تاسيسات توليد بخار براي محاسبه درجه سيال تزريقي به مخزن و ميزان خوردگي در مسير بخار تزريقي توجه داشت .

تزريق بخار عمدتاً به دو صورت انجام مي‌شود: .

روش چرخشي: در اين روش، ابتدا مقداري بخار و سپس، آب به‌همراه پليمر به مخزن تزريق مي‌شود . مجدداً بخار آب تزريق مي‌شود و به‌همين ترتيب فرايند ادامه پيدا مي‌كند . از اين روش در سال 1959 در ونزوئلا استفاده مي‌شد و در سال 1968 با استفاده اين روش در كاليفرنيا حدود 130000بشكه نفت برداشت گرديد .

روش تزريق بخار: در اين روش، بخار آب به طور ممتد به مخزن تزريق مي‌گردد و هم نيروي حرارتي و هم نيروي رانش به وسيله بخار آب ايجاد مي‌گردد . تاكنون در آمريكا نزديك به 50درصد نفت مخازن به اين روش استخراج گرديده است .

**شرايط لازم براي تزريق بخارآب**:

در يك بررسي آماري كه در مورد مخازن نفتي در سرتاسر جهان انجام شده، شرايط لازم براي استفاده از روش حرارتي به صورت ذيل گزارش شده است . البته وجود اين شرايط به معني كفايت اين شروط نيست و ازدياد برداشت به عوامل ديگري از جمله عوامل اقتصادي، زيست‌محيطي وغيره نيز وابسته است .


نمونه‌هاي موفق از كاربرد روش‌هاي حرارتي



**مخزن كويت:**

مخزن كويت در ادامه لايه آسماري ايران قرار دارد . از سپتامبر 1986، عمليات تزريق به اين مخزن به‌صورت چرخشي و با حفر چهار چاه تزريقي آغاز شد . براي اين منظور، بخار با درجة حرارت 433 درجه فارنهايت و در مدت يك تا سه روز با دبي 1246- 965 بشكه در روز تزريق شد تا فشار بخار به 390psi برسد، نتايج بدست آمده از اين مخزن حاكي از موفقيت‌آميز بودن اين روش در اين مخزن بوده است . اطلاعات مخزن به صورت ذيل مي باشد .



**ميدان لاك در فرانسه**:

ميدان نفتي لاك در جنوب غربي فرانسه قرار دارد كه داراي دو نوع سنگ متفاوت است: سنگ آهكي فشرده و سنگ دولوميت نامرغوب . به علت تراكم زياد شبكه شكاف‌ها، چاه‌هاي اين ميدان داراي بهره‌وري خوبي هستند . اين مخزن از نوع مخازن تركدار است؛ بنابراين اگر چه تراوايي مخزن پايين است (md 10) اما وجود ترك، تراوايي ميانگين را تا حدود md 500، بالا مي‌برد .

در سال هاي 1957- 1949 از منطقه تركدار توليد مي‌شد . سپس آشام آب مكانيزم اصلي ميدان شد و تمام ترك ها مورد هجوم قرار گرفتند . در سال 1977 هنوز مقدار زيادي نفت در مخزن بجا مانده بود . بنابراين راه هاي توليد اين نفت مورد بررسي قرار گرفت . مطالعات مهندسي مخازن و تحقيقات آزمايشگاهي منجر به انتخاب روش تزريق ممتد بخار گرديد . پروژة راهنماي تزريق بخار بين سالهاي 1997 الي 1982 به كار انداخته شد كه نتايج حاصل از آن موفقيت‌آميز ارزيابي گرديد . در اين پروژه با تزريق 251هزارتن بخار، 356 هزارتن نفت به‌دست آمد .
اين اولين آزمايش ترزيق بخار در يك مخزن كربناته، بود . تأثير بخار روي سنگ كربناته باعث آزاد شدن مقدار زيادي دي‌اكسيد كربن در داخل مخزن شد و يك كلاهك گازي تشكيل گرديد . تزريق بخار گرانروي نفت را كاهش داد و راندمان برداشت نسبت به حالت آشام آب بالاتر رفت . برداشت نفت بوسيلة بخار در اين ميدان، بالغ به 110هزار متر مكعب بوده است . اين مقدار فقط از طريق 5 الي 6 چاه بدست آمده است . خصوصيات مخزن لاك عبارتند از:‌


مطالعات انجام شده در مخازن ايران، حاكي از وجود مخازن نفت سنگين و ساختارهاي شكافدار مي‌باشد . درك پديدة بازيافت نفت از فضاي ماتريكس از طريق ترزيق سيال با دماي بالا، از روش سيلاب‌زني و تزريق مواد شيميايي خيلي پيچيده‌تر است . چرا كه در اين روش، بازيافت بستگي به چند مكانيزم دارد . بررسي تجارب انجام شده در تزريق آب گرم به مخازن كربناته شكافدار حاكي از موفقيت آميز بودن اين روش بوده است .

با توجه به خصوصيات مخازن ايران (كربناته شكافدار) و وجود ذخاير نفت سنگين، يكي از مهمترين گزينه‌هاي قابل مطالعه و تحقيق، روش‌هاي حرارتي ازدياد برداشت هستند . يكي از مهم‌ترين گام‌هايي كه بايد در اين راستا برداشته شود، شبيه‌سازي مخازن كشور به منظور آزمايش تزريق بخار و آب گرم، علي‌الخصوص در ميادين نفت سنگين است . لازم به ذكر است كه تاكنون 18 ساختار نفت سنگين در كشور شناسايي شده است و هنوز ارزيابي دقيقي از ميزان اين ذخاير وجود ندارد . هم‌اكنون مطالعات ازدياد برداشت و توليد از اين نوع مخازن، در برخي از دانشگاه‌هاي داخل و خارج كشور (مانند كانزاس) در حال انجام است و ضريب بازيافت اين مخازن بين 5 تا 10 درصد پيش‌بيني مي‌شود . با توجه به پايين‌بودن درجه مرغوبيت، گرانروي بالا، درصد مواد سنگين، همچنين وجود گوگرد فراوان در نفت سنگين نسبت به نفت سبك و نيز فشار كم مخازن، استخراج نفت از اين مخازن، احتياج به روش‌هاي بازيافت مرحله سوم و در راس آن، روش‌هاي حرارتي دارد .

فصل سوم:

کاربرد نانو فناوری در افزایش ضریب بهره دهی مخزن

**مقدمه:**

**فناوری نانو با ماهیت  فرارشته اى خود، مرزهاى علوم مختلف را شکسته و زمینه  را براى استفاده از نتایج، امکانات و ابزار تمامى علوم و رشته ها در جهت افزایش کیفیت زندگى فراهم کرده است . فناوری نانو در حوزه صنعت نفت و صنایع وابسته به آن، علاوه بر کاهش مخاطرات زیست محیطی این بخش و امکان صرفه جویی در برداشت از ذخائر زیرزمینی، زمینه ساز رشد صنایع بزرگ کشور خواهد بود**

صنعت نفت و گاز در ایران قدمت زیادی دارد و با بهره مندى از این منابع عظیم توانسته است، جایگاه ویژه اى  را براى کشور به وجود آورد . تلاش براى  دستیابى به فناوری و بهبود وضعیت موجود در این صنایع امرى است که بایدبه آن توجهى ویژه کرد . به همین دلیل، صنایع نفت، گاز و پتروشیمى نیز کمابیش از دایره نفوذ فناوری نانو دور نمانده و فناوری نانو در این محدوده نیز وارد شده است

**کاربرد فناوری نانو در بهره برداری از چاه ها:**

عملیات بهره برداری از چاه ها، شامل کلیه فعالیتهایى است که منجر به تولید، حفظ و افزایش آن می شود . در این مورد می توان به انجام آزمایشهای مورد نیاز چاه ها و عملیات بهبود چا ه هامانند )اسیدکاری، مشبک کاری، مسدودسازی، مانیتور نمودن وضعیت فشار و دبی) اشاره کرد . فناور ی نانو می تواند نقش بسیار حیاتی را در هر کدام از این بخشها ایفا کند . عمده این نقش، تغییر در ساختار ابزار و مواد مورد استفاده در این عملیات است . به طور یقین، استفاده از فنآوری نانو می تواند موجب تسهیل و تسریع عملیات و در نهایت منجر به افزایش تولید از چاه ها شود .

**از کاربردهای فناور ی نانو در بهره برداری از چاه ها می توان به موارد ذیر اشاره کرد .**

**کاربرد درپایش وضعیت چاهها:**



یکی از عملیات مهم در بهر ه برداری از چا ه ها ثبت اطلاعات دقیق از وضعیت چا ه ها از قبیل فشار، دما و دبی در سرچاه و یا در ته چاه است . اطمینان از صحت عملکرد  وسایل انداز ه گیری اهمیت ویژ های دارد .

محققان در آزمایشگاه فوتونیک دانشگاه  ویرجینیا، در حال توسعه ى انواع خاصی از حسگرهای قابل اعتماد و ارزان، از فیبرهای نوری براى اندازه گیری فشار، دما، جریان نفت و امواج آکوستیک در چا ه ها هستند . این حسگرها به علت مزایایی نظیر انداز ه ى کوچک، ایمنی در قبال تداخل الکترومغناطیسی، قابلیت کارآیی در فشار و دمای بالا و محیط های دشوار، بسیار مورد توجه قرار گرفته اند . از همه مهمتر این که، امکان جایگزینی و تعویض این حسگرها بدون دخالت در فرآیند تولید نفت و با هزینه ى مناسب فراهم میشود . در حال حاضر عمل جایگزینی و تعویض حسگرهای قدیمی در چا ههای نفت هزینه هاى هنگفتى در پی دارد . حسگرهای جدید از نظر تولید، بسیار مقرون به صرفه بوده و انداز ه گیر یهای دقیق تری را انجام می دهند . انتظار می رود که فناوری این حسگرها تولید نفت را با ارایه انداز ه گیری های دقیق و قابل اعتماد و کاهش ریسکهای همراه با اکتشاف و حفاری نفت بهبود بخشد .

هم چنین حسگرهای مذکور به علت توانایى کاربرد در موارد ویژه نظیر استخراج دریایی و افقی نفت جایی که به کاربستن حسگرهای قدیمی در چنین شرایطی بسیار مشکل می باشد از توجه خاصی برخوردارند .

**کاربرد در عملیات مشبک کاری:**



قسمت عمده تکمیل یک چاه، مشبک کردن لایه تولیدی آن در صورت نیاز  است . این عمل، یعنی برقرار کردن ارتباط بین لایه تولیدی و داخل چاه، با سوراخ کردن جداره پوششی  چا ه صورت می پذیرد . امروزه به دو صورت جداره پوششی را مشبک میکنند: یکی توسط گلوله های خاصى که با یک روش مشخص از داخل چاه به سمت دیواره فلزی آن(در عمق مورد نظر( پرتاب می شود و دیگری به وسیله ى شهاب فلزی که با استفاده از باروت به وجود می آید . طرز عمل هر دو تقریباً مشابه است و فقط نوع گلوله ها متفاوت است . امروزه عملیات شهاب فلزی معمول است که در آن از دو فلز با جنس های متفاوت و مواد منفجره برای تولید نیروی کافی بهره گرفته مى شود .

انجام عملیات مشبک کاری به نوع مواد منفجره، جنس گلوله، نوع سنگ و . . . بستگی دارد . با مشبک کاری، لوله ى جداری یا آستری و سیمان پشت آن و نیز بخشی از لایه ى مربوط به آن سوراخ می شوند . سپس نفت یا گاز از طریق سورا خهای ایجاد  شده به درون چاه راه پیدا می کند .

پیشرفتهای اخیر در زمینه مهندسی سطح با استفاده از پوشش های هوشمند و فناور یهای پوشش دهی، اصطکاک و سایش را در تما س های سطحی، بهتر کنترل مى کند . پوششهاب به علت جذب سولفورها و فسفرها ویسکوزیته را کاهش داده و خاصیت روانروی را در سیال تقویت مى کنند .

در سا لهای اخیر گونه ای از پوشش های نانو ساختار تولید شده که از فازهای فلزی  و سرامیکی تشکیل شده اند . پوششهاى مذکور به علت دارا بودن ساختار نانو و یکنواختى یکسان آنها در طول پوشش، داراى قابلیت چندکارگى نیز هستند .  این پوششها علاوه بر سختی بالا، ضریب اصطکاک پایین، خواص هدایت الکتریکی یا حرارتی زیادی دارند .

**کاربرد در عملیات سیما ن کاری:**



سیما ن کاری دقیق لوله های جداری در عملیات حفاری از اهمیت ویژ ه ای برخوردار است، به طور یکه اگر کیفیت سیما ن بندی پایین باشد، مشکلات عدید ه ای در زمان تولید از چاه به وجود خواهد آمد . لوله‌های جداری توسط سیمان به جداره چاه می‌چسبند و محکم می‌شوند . در این فرآیند ابتدا لوله‌های جداری به یکدیگر وصل می‌شوند و تا انتهای چاه رانده می‌شود . سپس سیمان از ته چاه به پشت لوله‌های جداری (فضای بین لوله‌های جداری و دهانه چاه) پمپ می‌شود و تا سطح زمین بالای می آید .نوع سیما نهای مورد استفاده  عملیات سیما نکاری به نوع عملیات و وضعیت چاه و لایه ها بستگی دارد . سیمان باید خواصی مانندگیرش، پمپ شوندگی، ویسکوزیته مناسب و سختی نهایی قابل کنترلی را داشته باشد . خصوصیات مذکور را مى توان با استفاده از نانوافزودنیها تأمین کرد .   نانوذرات با اضافه شدن به سیمان به خاطر خواص میا ن کوانتومی و توده مواد، باعث به وجود آمدن کیفیت مناسب آن می شوند . یکی از خصوصیات بارز این ذرات آن است که پس از اضافه شدن، تمام مخلوط یکسان شده و به تبع آن باعث یکنواختى خواص سیمان می شود .

**ازدیاد برداشت نفت با استفاده از فناوری نانو:**



روند اکتشاف حوزه‌های نفتی در حال کاهش است و بسیاری از مخازن نفتی نیز در انتهای بازه تولید خود قرار دارند . اهمیت اصلاح و بهبود روش‌های ازدیاد برداشت از این روست که در بسیاری از مخازن نفتی دنیا حدود دو سوم از نفت مخزن درون آن و بدون استفاده باقی می‌ماند و به کمک روش‌های مرسوم نمی‌توان آن را برداشت کرد حضور فناوری نانو در این بخش می‌تواند به افزایش بازدهی مخازن انرژی کمک شایانی نماید .

**پوشش‌های مایع نانوساختار به عنوان عایق حرارت و ضدخوردگی:**



خصوصیت ویژه این محصول، مایع بودن آن است که امکان استفاده از آن را بر روی سطوح فلزی و غیر فلزی توسط پیستوله، برس و رول‌های نقاشی فراهم می‌کند . همچنین در اندازه نانو بودن ذرات این پوشش‌ها باعث می‌شود که بیشترین نفوذ در حفره‌های سطحی، که عملیات پوشش دهی بر روی آن انجام می‌شوند، را ایجاد کنند و چون ابعاد ذرات این پوشش‌ها در حد میلی میکرون است، هم از فضا و هم از مواد به میزان صحیحی استفاده می‌شد . علاوه بر این، تراکم این لایه‌های نازک به حدی است که میزان تخلخل در آن بسیار کم بوده و عواملی که سبب خوردگی می‌شوند، نیز نمی‌توانند در این لایه‌ها نفوذ کنند . ضمناً چسبندگی این نوع پوشش به ماده هدف بسیار مناسب بوده و استحکام پوشش بسیار بالا است و همچنین به دلیل توزیع یکنواخت پوشش، پراکنش لایه نازک اختلاف پتانسیل را از بین برده و نیروی محرکه برای شروع خوردگی را از بین می‌برد .

**کاربردهای فناوری نانودر کشف کاهش آلودگی :**

آلودگی توسط مواد شیمیایی و یا گازهای آلاینده یك مبحث بسیار دشوار در تولید نفت و گاز می‌باشد . نتایج بدست‌آمده از تحقیقات دانشمندان حاكی از آن است كه فناوری نانو می‌تواند تا حد مطلوبی به كاهش آلودگی كمك كند . در حال حاضر فیلترها و ذراتی با ساختار نانو در حال توسعه می‌باشند كه می‌توانند تركیبات آلی را از بخار نفت جدا سازند . این نمونه‌ها علیرغم اینكه اندازه‌ای در حدود چند نانومتر دارند، دارای سطح بیرونی وسیعی بوده و قادر به كنترل نوع سیال گذرنده از خود می‌باشند . همچنین كاتالیست‌هایی با ساختار نانو جهت تسهیل در جداسازی سولفید هیدروژن، آب، مونوكسیدكربن، و دی‌اكسید كربن از گاز‌طبیعی در صنعت نفت بكار گرفته می‌شوند . در حال حاضر مطالعاتی بر روی نمونه‌هایی از خاك رس در ابعاد نانو و جهت تركیب با پلیمرهایی صورت می‌پذیرد كه بتوانند هیدروكربن‌ها را جذب نمایند . بنابراین می‌توان باقیمانده‌های نفت را از گل حفاری جدا نمود .

**نانوسنسورها در خدمت بهبود استخراج نفت:**



با توجه به دما و فشار زیاد در محیط‌های سخت زیرزمینی، سنسورهای قدیمی الكتریكی و الكترونیكی و سایر لوازم اندازه‌گیری قابل اعتماد نمی‌باشند و در نتیجه شركت‌های استخراج‌ كنندة‌ نفت در تهیة ‌اطلاعات لازم و حساس جهت استخراج كامل و مؤثر نفت از مخازن از نانو سنسورها استفاده کنند .



در حال حاضر محققان در حال توسعة یك‌سری نانوسنسورهای قابل اعتماد و ارزان از فیبرهای نوری جهت اندازه‌گیری فشار، دما، جریان نفت و امواج آكوستیك در چاه‌های نفت می‌باشند . این نانو سنسورها به‌علت مزایایی نظیر اندازه كوچك ،‌ایمنی در قبال تداخل الكترومغناطیسی ، قابلیت كارآیی در فشار و دمای بالا و همچنین محیط‌های دشوار، مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند . از همه مهم‌تر اینكه امكان جایگزینی و تعویض این نانوسنسورها بدون دخالت در فرآیند تولید نفت و باهزینه‌ مناسب فراهم می‌باشددرحالی که عمل جایگزینی و تعویض سنسورهای قدیمی در چاه‌های نفت میلیون‌ها دلار هزینه در پی دارد . نانوسنسورها از نظر تولید بسیار مقرون ‌به صرفه بوده و اندازه‌ گیری‌های دقیق‌تری ارائه می‌دهند .

انتظار می‌رود كه تكنولوژی این نانوسنسورها تولید نفت را با ارائه اندازه‌گیری‌های دقیق و قابل اعتماد و كاهش ریسك‌های همراه با اكتشاف و حفاری نفت بهبود بخشد . همچنین این نانوسنسورها به‌علت برخی كاربردهای ویژه نظیر استخراج دریایی و افقی نفت، جایی كه بكاربستن سنسورهای قدیمی در چنین شرایطی بسیار مشكل می‌باشد، از توجه ویژه‌ای برخوردارند .

 **نانوسنسورها در لرزه نگاری بهتر:**



یکی از کاربردهای فناوری نانو در صنایع  نفت و گاز، استفاده از آن در لرز ه نگاری است . عملیات لرز ه نگاری با ایجاد انفجار در نقاط مختلف روی زمین و سپس ثبت شدت و دامنه لرزه های ایجاد شده، توسط دستگا ه هایی خاص انجام میشود . از اطلاعات لرز ه نگاری می توان؛ ساختار کلی لایه های زمین، محدوده مخزن، نوع سیال(اعم از گاز، آب یا نفت و . . .) را به دست آورد . دریافت اطلاعات در عملیات لرزه نگاری توسط سنسورهای خاصی صورت می گیرد .  به نظر میرسد با ساخت نانوسنسورها میتوان ثبت لرز ه ها را به صورت دقیقتر انجام داد؛ زیرا امکان وارد کردن این سنسورها  در لایه های مختلف زمین و ثبت لرز ه ها در موقعیتهای گوناگون وجود دارد . فناوری نانو می‌تواند علاوه بر پیشرفت فوق با نانوساختار کردن ژئوفون ها (لرزه نگارهای کوچک )به عملکرد سریع و ثبت اطلاعات صوتی دقیق‌تر در روی سطح زمین منجر گردد .

کاربرد فناوری نانو در ابزار مربوط به عملیات اکتشاف نفت و گاز می تواند به دریافت اطلاعات دقیقتر و به خصوص اخذ اطلاعات از اعماق بسیار زیاد و به تبع آن شناخت جامعتر مخازن کمک کند .

**نانوسنسورها برای نمودار گیری دقیق‌تر از چاه:**

از نانوسنسورها برای تحلیل پرتوها به صورت دقیق، به خاطر سطح ویژه بالای آن‌ها، استفاده می‌شود . این نانوسنسورها علاوه بر این کارکرد، وظیفه تعیین جنس لایه‌ها و تضمین خواص سیال را نیز خواهند داشت . این سنسورها به علت مزایایی نظیر اندازه کوچک، ایمنی در قبال تداخل الکترومغناطیسی، قابلیت کارایی در فشار و دمای بالا و محیط‌های دشوار، در صنعت نفت مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند . همان طور که گفتیم نانوسنسورهای  از نظر تولید بسیار مقرون به صرفه خواهند بود .

**کاربرد فناوری نانو در حفاری و تولید:**



با کاهش منابع در دسترس صنعت اکتشاف و تولید نفت و گاز به دلیل افزایش عمق عملیاتی، خطرات و مشکلات مربوط به زمین شناسی زیر سطحی با افزایش عمق، حرکت افقی برای رسیدن به حداکثر تولید، پیچیدگی عملیات حفاری و شکل پروفایل دهانه چاه یا تعداد شعبه‌های خروجی از دهان اصلی برای رسیدن به حداکثر تماس با مخزن، با چالش‌هایی روبرو شده است . در تمامى فرآیندهاى حفاری چا ههای نفت و گاز، به موادی مستحکم و مطمئن احتیاج است .  با ساخت مواد در مقیاس نانو میتوان تجهیزاتی سبکتر، مقاو م تر و محکمتر از محصولات فعلى را تولید کرد .   دو کاربرد عمده فناوری نانو در عملیات حفاری؛ ساخت سیالات و ابزار حفاری است که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد .

**ابزارهای حفاری بسیار مقاوم:**



بیشترین تنش طی عملیات حفاری، به مته‌های حفاری وارد می‌شود . مته‌های حفاری، جزء قسمت‌های از رشته حفاری هستند که مرتباً در حال فرسایش می‌باشند و پس از حفر یک متراژ مشخص، کارایی خود را از دست می‌دهند و بایستی جایگزین شوند . مواد جدیدی که مته‌ها را در برابر خوردگی و فرسایش مقاوم‌تر نمایند در این بخش بسیار مفید هستند . لذا در این بخش می‌توان با استفاده از نانوکامپوزیت ها، نانوساختارها و نانولوله های کربنی، مته‌های حفاری بادوام و مستحکم‌تری را تولید کرد . همچنین با استفاده از نانوالماس ها که به صورت مصنوعی ساخته می‌شود می‌توان بازده حفاری را به میزان زیادی افزایش داد .

**گل‌های حفاری با کارایی بیشتر :**



گل حفاری نقش بسیار عمد ه ای در تسریع یا تأخیر انجام عملیات حفاری دارد . گل حفاری، سیالی است که از درون لوله‌های رشته حفاری به سمت پایین پمپ می‌شود، از سوراخ‌های مته بیرون می‌آید و سپس از فضای حلقوی بین دیواره چاه و لوله‌های حفاری، کنده‌های حاصل از حفاری را به سطح حمل می‌کند . این سیال وظایف بسیاری در عملیات حفاری دارد؛ مانند انتقال خرد ه های حفاری به سطح، خنک نگه داشتن مته حفاری، جلوگیری از ریزش دیواره چاه، کنترل فشار دیوار ه ها و انتقال توان هیدرولیکی پمپ به مته حفاری که بدون آن، عملیات حفاری امکا ن پذیر نیست .

خواصی مانند قابلیت انتقال توان هیدرولیکی و تراکم پذیری از مهم ترین عواملی هستند که به نظر می رسد با استفاده از نانوکامپوزیتها, نانولوله های کربنی و برخی از  نانوپودرهای سرامیکی سخت با وزن مخصوص مناسب(نظیر نانوپودرهای کاربید سلیسیم) قابل دستیابی است

گل حفاری باید خواصی همچون چگالی ویسکوزیته مناسب جهت حمل کنده‌های حفاری به بالا و همچنین قابلیت انتقال توان هیدرولیکی پمپ‌ها را نیز داشته باشد . حصول به خواص مورد نیاز در گل حفاری با افزودن مواد شیمیایی خاص؛ مانند پلیمرها، وزن دهند هها و . . . امکا ن پذیر است . برای حصول خواصی همچون چگالی مناسب با استفاده از نانوافزودنی ها قابل حصول است . ویسکوزیته مناسب نیز با اضافه کردن نانوافزودنیهایی که خاصیت روغنکاری دارندبه دست می آید . خواصی مانند قابلیت انتقال توان هیدرولیکی و تراکم پذیری از مهم ترین عواملی هستند که به نظر می رسد با استفاده از نانوکامپوزیتها, نانولوله های کربنی و برخی از  نانوپودرهای سرامیکی سخت با وزن مخصوص مناسب(نظیر نانوپودرهای کاربید سلیسیم) قابل دستیابی است .

خواص تیکسوتروپیک گل حفاری نیز می تواند با نانو افزودنیها محقق شود . اگر احیاناً عملیات حفاری قطع شد، گل می بایست به حالت ژلاتینی د ر آمده و مانع از ته نشین شدن کنده های حفاری شود و از گیر کردن ابزار حفاری در درون چاه جلوگیری کند . همچنین گل ژلاتینی باید به گونه ای باشد که با کمترین تنش از حالت ژلاتینی به حالت روان درآید و مجدداً خاصیت تیکسوتروپیک گل را برگشت دهد .در این بخش نیز استفاده از نانومواد تأثیرات به سزایی روی بهبود این خواص دارد .

**ازدياد برداشت نفت خام با کمک نانوذرات** :

|  |
| --- |
| طبق گفته دانشمندان در آمريکا و چين، نانوذرات روکش داده‌شده با پليمر را مي‌توان براي شناسايي نفت خام در ميدان‌هاي نفتي بالغ استفاده کرد .با توجه به اينکه تخمين زده مي‌شود که فقط حدود 60 درصد نفت خام ميدان‌هاي نفتي بالغ برداشت مي‌شود، به نظر مي‌رسد که مي‌توان باقيمانده آنها را بعنوان يک منبع بزرگ مصرف‌نشده شناسايي کرد . اکنون جيمز تور و همکارانش در دانشگاه رايس، آمريکا، و دانشگاه نانکاي، چين، براي شناسايي هيدروکربن‌هاي نفت خام در بين سنگ‌هاي موجود در اين ميدان‌هاي نفتي، نانوذراتي طراحي کرده‌اند .  |
|   |
| http://www.nano.ir/news/attach/5522.JPG |
| اين نانوذرات در بين سنگ‌ها حرکت کرده و هنگامي که نفت خام پيدا مي‌کنند، محموله‌ي خود را رها مي‌کنند . |
|   |
| نانوذرات اين محققان شامل هسته‌هاي کربني اکسيدشده‌اي مي‌باشند که بوسيله پوسته‌هاي پلي‌وينيل الکل روکش‌دهي شده‌اند . اين نانوذرات مي‌توانند ترکيباب آب‌گريزي (يا ضد آبي) که نانوگزارشگر ناميده ‌شده‌اند، را در سرتاسر اين سنگ‌ها انتقال دهند . تور مي‌گويد: حقيقتاً فکر کردن به اينکه ما مي‌توانيم نانوگزارشگرهايي بسازيم که مي‌توانند درسرتاسر سنگ‌هاي ميدان‌هاي نفت خام مهاجرت کنند، هيجان‌آور است .اين نانوذرات هنگامي که با سنگ‌هاي حاوي نفت خام تماس پيدا مي‌کنند، محموله‌ي خود را رها مي‌کنند و اين را با بازيافت آنها مي‌توان مشاهده کرد .باب مک‌نيل، متخصص سوخت‌هاي فسيلي از بخش اپراتور نفت، مي‌گويد: ما مي‌دانيم که حجم بزرگي از نفت خام در پايين چاه‌هاي نفت باقي مانده است، اما نمي‌دانيم واقعاً کجا مي‌باشد . اگر اطلاعاتي در اين زمينه پيدا کنيم، مي‌توانيم به منظور برداشت آن شروع به طراحي روش‌هاي پيشرفته و هوشمند بازيافت نفت خام کنيم .مک‌نيل پيشنهاد مي‌دهد که اين محموله را مي‌توان با ماده‌اي که بوسيله يک ابزار قرار گرفته درون چاه مي‌توان از آن تصويربرداري کرد، بارگذاري کرد . اين کار به ما اجازه مي‌دهد که اعماق مناطقي با بزرگترين حجم نفت خام باقيمانده و مکان‌هاي تجمع نفت در اين اعماق را شناسايي کنيم . تور مي‌گويد که او مطمئن است که روش آزمايشگاهي‌شان را مي‌توان براي تست نمونه‌هاي سنگي واقع در چاه نفت خام استفاده کرد . البته هنوز اثرات محيطي اين نانوگزارشگر‌ها ناشناخته است و اين ممکن است نگراني‌هايي ايجاد کند . با اين حال اين نگراني را مي‌توان با استفاده از پليمرهاي زيست‌تخريب‌پذير و دوده‌هاي کربني فراوان طبيعي، رفع کرد .اين پژوهشگران جزئيات نتايج کار تحقيقاتي خود را تحت عنوان "نانوذرات طراحي‌شده براي شناسايي هيدروکربن در سنگ‌هاي ميدان نفتي" در مجله‌ي Energy Environ . Sci . منتشر کرده‌اند . |

**نانو ذرات پلیمری برای ازدیاد برداشت از چاههای نفت**:



پژوهشگران پژوهشگاه صنعت نفت، نانو ذرات پلیمری به منظور استفاده در سیمان حفاری و ازدیاد برداشت نفت عرضه کردند .

پژوهشگران پژوهشگاه صنعت نفت، نانو ذرات پلیمری به منظور استفاده در سیمان حفاری و ازدیاد برداشت نفت عرضه کردند .



به گزارش خبرگزاری مهر، یکی از عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم و تکنولوژی پلیمر پژوهشگاه صنعت نفت با اشاره به کارایی پلی اکریل آمید و کوپلیمرهای بر پایه اکریل آمید در بخش نفت گفت: این مواد در صنایع مختلف نفتی چون سیال و سیمان حفاری، ازدیاد برداشت نفت به عنوان افزودنی در فرمولاسیون سیال حفاری پایه آبی به عنوان کنترل خواص رئولوژی، کنترل کننده هرز روی سیال و نیز به عنوان پایدار کننده شیل های حساس به آب استفاده می شود .

وی با بیان اینکه در این پروژه تحقیقاتی به سنتز نانوذرات پلی اکریل آمید و کوپلیمرهای با قابلیت استفاده در سیال و سیمان حفاری پرداخته شد اظهار داشت: نانو ذرات به دست آمده از این پژوهش در اندازه کمتر از ۲۰۰ نانومتر و با توزیع اندازه ذرات در محدوده ۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر به دست آمد .

عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم و تکنولوژی پلیمر پژوهشگاه صنعت نفت، سنتز این ذرات با جرم مولکولی بالا و اندازه ذرات کنترل شده در محدوده نانو تا میکرو بسته به کاربرد مورد نظر را از مزایای این پژوهش عنوان کرد .

وی با اشاره به تجاری شدن این محصول در سه سال آینده گفت: مرکز پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران و مناطق نفت خیز متقاضی این پروژه است .

**کاربرد نانو در ازدیاد برداشت مخازن نفت سنگین:**

**نفت هاى سنگين بخشى از منابع قابل توجه نفتى به شمار مى آيند كه به دليل مشكلات استخراج ناشى از بالا بودن گرانروى ، هنوز تاحدود، زيادى دست نخورده باقى مانده اند . در حال حاضر، استخراج از مخازن نفت سنگين با استفاده از روش هاى ازدياد برداشت حرارتى، CHOPS،، تزريق حلال و تزريق گاز امتزاجى صورت مى پذيرد . در اين مقاله، مزاياى سه فرآيند مجزا شامل روش هاى حرارتى، تزريق حلال و تزريق گاز امتزاجى با يكديگرتركيب شده و يك فرآيند نو براى كاهش گرانروى نفت سنگين ارائه شده است . در اين پژوهش، از نانوذرات فلزى براى افزايش هدايت حرارتى دى اکسید کربن فوق بحرانی یا سیال تزریقی کاهنده گرانروی(VRI) براى كاهش گرانروى نفت سنگين استفاده شده است . يك ماده فعال سطحى قابل حل در دى اكسيد كربن فوق بحرانى نيز براى تقويت اين كاهش گرانروى به مخلوط اضافه شده است . بنابراين، خواص حرارتى نانوذرات فلزى، خواص شيميايى و حلاليت مواد فعال سطحى و خواص امتزاجى دى اكسيد كربن فوق بحرانى و سيال تزريقى كاهنده گرانروى، همه با هم به كاهش گرانروى نفت سنگين و تسهيل در استخراج اين نوع نفت، كمك مى كنند .**

نفت سنگين يا فوق سنگين، به نفت خامى اطلاق مى شود كه به راحتى جريان پيدا نمى كند . علت استفاده از واژه "سنگين" براى اين نوع نفت، بالا بودن چگالى آنها در مقايسه با نفت سبك است . به طور معمول، نفت سنگین با درجه API کمتر از 20(یا به عبارتی دیگر چگالی نسبی بیش از 933/ .)است .

توليد، انتقال و پالايش نفت سنگين در مقايسه با نفت سبك دشوارتر است . بزرگترين مخازن نفت سنگين دنيا در شمال ونزوئلا قرار دارد . اما به طور كلى بيش از سى كشور داراى مخازن نفت سنگين هستند . بالا بودن گرانروى و چگالى نسبى و همچنين داشتن تركيبات مولكولى سنگين تر اين نوع از نفت خام، مهمترين خواص فيزيكى هستند كه بين نفت سنگين و سبك تمايز ايجاد مى كنند . نفت فوق سنگين ونزوئلا داراى گرانروى بيش از ده هزار سانتى پواز و درجه API ،10است .معمولاً، براى انتقال اين نوع از نفت خام در فواصل معين ،با خط لوله، از رقيق كننده هايى استفاده مى شود كه باعث سهولت در جريان سيال مى شوند .

روش هاى توليد از مخازن نفت سنگين و فوق سنگين عبارتند از:

a . Cold heavy oil production with sand

b . steam assisted gravity drainage

c . cyclic steam stimulation

d . vapor extraction

e . Toe-to-Heel Air Injection (THAI)

طبقه بندى مخازن نفتى به مخازن نفت سبك و سنگين، بر اساس درجه API سیال مخزن انجام میگیرد اگرچه يك طبقه بندى يكسان بين المللى براى اين منظور وجود ندارد، ولى به طور معمول نفت هايى با درجه API بين 12تا20 را میتوان به نفت سنگین و نفت هایی با درجه API بین 8تا 12 را به نفت فوق سنگین طبقه بندی کرد .

در نقاط مختلف جهان به خصوص در كشورهاى كانادا، آمريكا، ونزوئلا، ايران، مكزيك، روسيه و بعضى از كشورهاى توليد كننده نفت خام در خاورميانه، منابع عظيمى از نفت هاى سنگين و بسيار سنگين وجود دارد .

به طور كلى ميزان كلى منابع نفت به شكل نفت سنگين و قير طبيعى در جهان حدود 6 تريليون بشكه نفت درجا تخمين زده مى شود كه سه برابر ذخاير نفت معمولى جهان است . همچنين مطابق مطالعات انجام گرفته، مجموع ذخاير نفت سنگين ايران حدود 85 ميليارد بشكه برآورد شده است .

با وجود حجم زياد ذخاير نفت سنگين و قير طبيعى، توليد از اين منابع انرژى به سادگى برداشت از ذخاير متداول نفت خام نبوده و با استفاده از فناورى هاى متداول به آسانى قابل بهره بردارى نيستند . وجود گرانروى بالا و درصد بالايى از تركيبات آسفالتين و رزين در اين هيدروكرب نها باعث بروز مشكلاتى در مراحل استخراج،انتقال و فرآورى نفت سنگين مى شود . برداشت اوليه در تعداد كمى از مخازن نفت سنگين و قير كه داراى شرايط

بهترى هستند، حداكثر به 6 درصد نفت درجا مى رسد . بنابراين استفاده از روش هاى بازيافت از همان ابتداى برداشت از اين نوع مخازن، ضرورى به نظر میرسد .

تقاضاى روزافزون جهانى براى نفت و فرآورد ههاى آن و كاهش توليد طبيعى از مخازن نفت سبك و ازسوى ديگر افزايش قيمت نفت در سال هاى اخير باعث توجه روزافزون به روش هاى توليد از مخازن نفت سنگين و فوق سنگين شده است . به طورى كه برآورد ها نشان مى دهد، توليد نفت سنگين كانادا در آينده نزديك از مرز1/2 ميليون بشكه در روز بگذرد . در كشور ونزوئلا طبق برنامه ريزى انجام شده، شركتهاى نفتى قصد دارند600 بشكه در روز برسانند . دولت چين نيز قصد دارد در آينده نزديك ميزان توليدمیادین نفت سنگين را به 150000بشكه در روز برساند . اين در حالى است كه در كشور ايران با توجه به ذخاير قابل ملاحظه نفت سنگين، به دليل عدم انتقال فناورى مربوطه، توليد از ميادين نفت سنگين صورت نمى گيرد .

مخازن نفت سنگين و فوق سنگين به خاطر گرانروى بالا، داراى بازيافت اوليه قابل توجهى نيستند، ازاين رو براى بازيافت موثر از چنين مخازنى ضرورت كاهش گرانروى نفت درجا با استفاده از رو شهاى حرارتى احساس مى شود، به طوريكه بيش از 80 درصد توليد نفت سنگين در مرحله ازدياد برداشت از طريق روش هاى حرارتى انجام مى گيرد .

به طور كلى مخازن نفت سنگين و فوق سنگين نيازمند اقداماتى براى كاهش گرانروى نفت و وارد كردن انرژى به مخزن هستند . زمانى كه بخار فوق داغ به مخزن تزريق مى شود، گرانروى نفت كاهش يافته، فشار مخزن از طريق جابه جايى و تقطير جزئى نفت افزايش مى يابد . بخار مى تواند به طور پيوسته به شكل سيلابزنى يا به صورت منقطع و طى

چند چرخه به مخزن تزريق شود . در حالت منقطع، مى توان بخار را از يك چاه(در نقش چاه تزريقى) به مخزن تزريق كرد و سپس از همان چاه (اين بار در نقش چاه توليدى) به استخراج نفت پرداخت .روش تزريق گاز، هم به صورت امتزاجى (كه گاز تزريقى و نفت درون مخزن با يكديگر امتزاج يافته و تشكيل سيال واحدى مى دهند) و هم به صورت غيرامتزاجى (كه گاز تزريقى پيستون مانند، نفت درون مخزن را به سمت چاه هاى توليدى

هدايت مى كند) ، از روش هاى ازدياد برداشتى هستند كه

به طور گسترده، پس از روش هاى حرارتى در استخراج نفت،مورد استفاده قرار گرفته اند .



**شكل:2 تصوير** **SEM** **از نانوذرات اكسيد مس**

**هدف:**

چالش هاى فعلى در توليد نفت سنگين را مى توان با روش هاى نوين ازدياد برداشت نفت سنگين حل نمود . در اين مقاله روشى نوين به منظور كاهش گرانروى نفت سنگين با استفاده از نانوذرات فلزى بررسى شده است . اهداف اين مطالعه عبارتند از:

1 .كاهش گرانروى نفت با استفاده از دى اكسيد كربن يا VRI اشباع شده

با نانوذرات

 .2استفاده از خواص حرارتى نانوذرات براى افزايش انتقال حرارت به نفت

سنگين

 .3بررسى اثر افزايش چگالى و گرانروى پلى دى متيل سيلوكسان و نانوذرات

فلزى براى كاهش تحرك و اثر انگشتى شدن

 .4 بررسى ميزان بازيافت نفت سنگين با استفاده از دى اكسيد كربن اشباع شده از نانوذرات در مقايسه با دى اكسيد كربن بدون نانوذرات



**شكل :3 پلى دى متيل سيلوكسان**

**نانوذرات فلزى:**

از آنجا كه نانوذرات فلزى مى توانند بطور موثرى پلى بين مواد در مقياس بزرگ و ساختارهاى اتمى و ملكولى باشند، بسيار مورد توجه قرار گرفته اند . مواد در مقياس بزرگ بدون توجه به اندازه، داراى خواص فيزيكى ثابت هستند، اما اين قضيه در مقياس نانو صدق نمى كند . اما با نزديك شدن اندازه مواد به مقياس نانو و افزايش قابل توجه درصد اتم ها در سطح ماده، خواص مواد تغيير مى كنند .

نانوذرات تنها بخشى از خواص ماده در حالت توده را از خود نشان مى دهند . براى

مثال، خمش مس در مقياس توده اى )براى ساختن سيم، نوار و غيره( از طريق

جابجايى اتم ها يا خوشه هايى از مس در ابعاد 50 نانومتر انجام مى گيرد . نانوذرات مس، كه در شكل 2 تصویر SEM آن نشان داده شده است، با اندازه كمتر از، 50 نانومتر به عنوان مواد فوق العاده سخت شناخته میشوند كه خواص چكش خوارى و لوله اى شدن مس در مقياس تود هاى را نخواهند داشت . نانوذرات به ازاى حجم مشخصى از ماده، داراى سطح خيلى زياد هستند . اين خاصيت يك نيروى محرك قابل توجه براى نفوذ به خصوص در دماهاى بالا ايجاد مى كند .

با افزودن نانوذرات، خواص سيال پايه )سيال معمول(از قبيل دانسيته، گرانروى، هدايت حرارتى، و گرماى مخصوص افزايش می يابد . اين افزايش در خواص فيزيكى سيال پايه، براى كاربردهاى انتقال حرارتى مطلوب است .



**مواد فعال سطحى:**

مواد فعال سطحى، كشش سطحى مايع را از طريق جذب سطحى در فصل مشترك گاز- مايع، كاهش مى دهند . پلى دى متيل سيلوكسان ، يكى از پليمرهاى آلى با پايه سيليكونى است كه بطور گسترده مورد استفاده قرار م ىگيرد و به خصوص به علت خواص رئولوژيكى غير معمولش معروف است . شكل 3 اين ملكول پليمرى را نشان مى دهد . اين پليمر، باعث بروز خواص رئولوژيكى غير معمول از قبيل گرانروى بالا 100000)

سانتى پواز) است . همچنين اين پليمر، از نظر شيميايى نسبت به اكثر مواد شيميايى ديگر حالت خنثى دارد . اين پليمر، در دى اكسيد كربن فوق بحرانى حل شده و مى تواند گرانروى آن را افزايش دهد . دانسيته اين پليمر 0/98وزن ملكولى آن 139000 و گرانروى آن 100000 سانتى پواز است .

**آزمايش ها:**

براى بررسى تاثير افزودن نانو ذره اكسيد مس مجموع هاى از آزمايشات به شرح زير انجام شده است(1)

**آزمايش هاى بررسى ويسكوزيتة نفت سنگين:**

انتظار مى رود اضافه كردن نانو ذره موجب كاهش ويسكوزيته نفت سنگين شود . به همين منظور دو دسته آزمايش براى بررسى صحت اين موضوع انجام شد . آزماي شهاى دسته اول به منظور بررسى اثر افزودن نانو ذره اكسيد مس به گاز دى اكسيد كربن تزريقى در فشارهاى مختلف طراحى شدند كه طراحى آزمايش ها و نتايج حاصل در جدول و نمودار ( 1) آمده است .

گاز دى اكسيد كربن موجب باد كردن نفت سنگين آلاسكا و كاهش ويسكوزيتة آن مى شود . همان طور که در ابتدای ازمایشات انتظار میرفت با افزودن PDMS و نانو ذره اكسيد مس در غلظت هاى متفاوت همراه با هم موجب كاهش ويسكوزيته نفت سنگين گرديد . لازم به ذكر است كه رابطة بين افزودن نانو ذره اكسيد مس و كاهش ويسكوزيته نفت، خطى نبوده و همواره يك غلظت بهينه براى كاهش ويسكوزيته نفت وجود دارد .

به عنوان مثال، در آزمايش 6 غلظت نانو ذره اكسيد مس 3 درصد و بيشترين غلظت در تمام آزمايشات است ولى كمترين ويسكوزيته را در اين آزمايش شاهد نيستيم . كمترين ويسكوزيته در همه فشارها در آزمايشهاى شماره 5 اتفاق می افتد .

آزمايش هاى دسته دوم براى بررسى اثر افزودن نانو ذره اكسيد مس به سيال تزريقى كاهنده ويسكوزيته در فشارهاى مختلف طراحى شدند . طراحى آزمايش ها و نتايج حاصل به ترتيب درجدول و نمودار 2 آمده است .

سيال تزريقى كاهنده ويسكوزيته نيز مى تواند ويسكوزيته نفت را كاهش دهد . افزودن نانو ذره اكسيد مس،موجب تسريع در كاهش ويسكوزيتة نفت سنگين مى شود . با مقايسه دو نمودار 1و 2، مى توان نتيجه گرفت توانايى سيال تزريقى كاهنده ويسكوزيته از گاز دى اكسيد كربن در كاهش ويسكوزيته نفت آلاسكا كمتر بوده است . همچنين، در اينجا نيز مانند آزمايش هاى دسته اول، رابطة بين افزودن نانو ذره اكسيد مس و كاهش ويسكوزيته نفت خطى نخواهد بود . نمودار 2 تائيد كننده اين مطلب است .

**آزمايش سيلابزنى مغزه بوسيله تزريق دى اكسيد كربن:**

 ابتدا براى انجام آزمايش سيلابزنى، یک نمونه مغزه Berea با آب و نفت سنگين آلاسكا اشباع گرديد ، و سپس تزريق دى اكسيد كربن يكبار به تنهايى و يكبار همراه با نانو ذره اكسيد مس صورت گرفت .

**فصل چهارم:**

**بحث ، نتیجه گیری**

نتايج:

آزمايشات نشان مى دهد كه تزريق دى اكسيد كربن به تنهايى به 58 درصد بازيافت نفت منجر مى شود **،در حالیکه با استفاده از نانو ذرات** CuO **این میزان تا71 درصد قابل افزایش میباشد .**

**نتيجه گيرى:**

نتايج آزمايشات صورت گرفته نشان میدهد كه با افزایش PDMS و نانوذرات CuO به سيال تزريقى پايه ) CuO دى اكسيد كربن(، دانسيته و گرانروى سيال تزريقى افزايش مى يابد كه موجب كاهش كاهش تحرك سيال تزريقى، باعث افزايش بازدهى جاروبى شده و در نهايت به بهبود ميزان بازيافت نفت كمك مى كند . همچنين استفاده از PDMS و نانوذرات CuO مى توانند گرانروى نفت سنگين را به طور قابل ملاحظه اى كاهش دهند وجریان یافتن نفت سنگین را تسهیل نمایند محققين درصددند تا اثر نانوذرات ديگرى مانند SiO2و CdS را در بهبود بازيافت نفت سنگين بررسى كنند .

منابع:

**منابع فارسی:**

کتاب آشنایی با فناوری نانو(کاربردها) –سلیمی،طاهری،احمدوند

قلیایی زاده،مریم،نشریه فنی تخصصی اکتشاف و تولید،شماره 54،بهمن 87

**منابع لاتین:**

1- cyclic steam injection in kuwit .spe 30288
2- recent results of steam drive development in lacq .b .sahuquet,a .sitbon .elg Aquitaine

3- Shah, Rusheet D, Application

of Nanoparticle Saturated

Injectant Gases for EOR of Heavy

Oils, Presented at the 2009 SPE

International Student Paper Contest

at the SPE Annual Technical

Conference and Exhibition,

Louisiana, USA .

4-http://www .heavyoilinfo .com/

blog-posts/worldwide-heavy-oilreserves-

by-country/

5- www .Wikipedia .com

6- .http://www .monroecc .edu/wusers/flanzafame/ChemFont .htm

7- .http://eng .nanocomposite .net/?view=products⊂=4004

8- .http://www .gordonengland .co .uk/cgi-