

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۹۹

کاربرد نانو حسگرها در تشخیص و کنترل رطوبت خاک

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

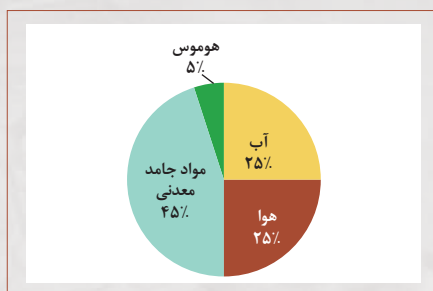
طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر و مویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir/sensor
تهیه‌کننده:	کارگزار ترویج صنعتی حوزه نانوحسگرها	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴
	sensor@nano.ir		

- ۳ فناوری نانو و گلوگاه رشد گیاه
- ۳ رطوبت خاک و اهمیت آن
- ۴ روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک
- ۶ نانوحسگرها
- ۸ برتری نانوحسگرها نسبت به سایر روش‌ها
- ۹ محصولات تجاری و پیش‌بینی بازار
- ۱۰ مزیت‌های استفاده از نانوحسگرها به منظور تعیین رطوبت خاک

کشورهای جهان به دنبال ریشه کن کردن فقر و گرسنگی و تامین غذای جامعه هستند. دستیابی به این اهداف در گرو کشاورزی مناسب و تامین آب مورد نیاز است. آب کافی با ورود به محیط کشت گیاه باید رطوبت خاک را به حد مناسب برساند. رطوبت خاک باید در حدی باشد که هم نیاز آبی گیاه تامین شده و هم عناصر غذایی به خوبی در اختیار گیاه قرار گیرند. نبود این میزان رطوبت به معنای کاهش عملکرد و از بین رفتن محصول است. با این تفاسیر شاید بتوان آب را به عنوان گلوگاه رشد گیاه در نظر گرفت. با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی و محدود بودن منابع آب، تشخیص و کنترل میزان رطوبت خاک بسیار حائز اهمیت است. فناوری نانو با تولید محصولاتی چون نانو حسگرها، می تواند نقش مهمی در کنترل رطوبت خاک ایفا کند. نانو حسگرها قابلیت نظارت و تعیین میزان رطوبت در سطوح مختلف خاک و یا ریشه گیاه را دارند. بنابراین، کاربرد این فناوری، در کاهش مصرف آب و بهینه سازی عملکرد محصول شایان توجه است.

رطوبت خاک و اهمیت آن

خاک زراعی یک مجموعه یا سیستم سه فازی است که جزئی از آن را ذرات جامد و دو جزء دیگر آن را آب و هوا تشکیل می دهد (شکل ۱).



«شکل ۱. خاک»

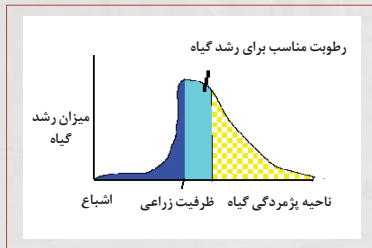
ایده آل زراعی از لحاظ
اجزاء تشکیل دهنده

بسیاری از خصوصیات خاک مانند پایداری^۱، خمیرایی^۲، مقاومت^۳، تراکم پذیری^۴، نفوذپذیری^۵ و قابلیت تردد^۶ روی خاک بستگی به مقدار آب موجود در خاک دارد که به آن رطوبت گفته می شود. رطوبت بر مقدار هوای خاک و تبادل گازها موثر است. فعالیت موجودات زنده و واکنش های شیمیایی خاک نیز تابعی از مقدار رطوبت آن است. در کشاورزی استفاده از رطوبت کافی و به موقع برای آبیاری، در تولید محصول و رشد گیاه بسیار ضروری است. با توجه به اهمیت این مسئله، دانستن اینکه چه مقدار رطوبت در خاک موجود بوده و چه میزان از آن قابل استفاده گیاه است، از موضوعات مهم کشاورزی محسوب می شود. از این منظر، میزان رطوبت خاک را می توان در سه قسمت مختلف بررسی کرد:

۱. رطوبت اشباع: این میزان رطوبت بعد از هر بار آبیاری (به ویژه آبیاری غرقابی) ایجاد می شود و تقریباً تمامی منافذ خاک از آب پر می شود که این شرایط مناسب رشد گیاه نیست. مقادیر زیادی از آب موجود، از طریق منافذ درشت خاک به سمت اعماق حرکت کرده و یا تبخیر می شود و عملاً از دسترس ریشه گیاه خارج می گردد. به این میزان آب خارج شده، آب ثقلی (آب آزاد) نیز گفته می شود.

۲ ظرفیت زراعی: پس از گذشت مدت زمان مناسب (معمولا ۴۸ ساعت) آب ثقیلی خارج شده و به میزان رطوبت باقیمانده، ظرفیت زراعی اطلاق می‌گردد.

۳ ناحیه پژمردگی گیاه: با گذشت زمان و در اثر مصرف آب توسط گیاه و تبخیر شدن آن، میزان رطوبت به حد زیادی کاهش یافته و آب موجود با نیروی زیادی توسط ذرات خاک نگه‌داری می‌شود. در این حالت گیاه قادر به جذب و تامین آب مورد نیاز خود نیست و عملکرد محصول کاهش می‌یابد.



شکل ۲. رطوبت مناسب برای رشد گیاه

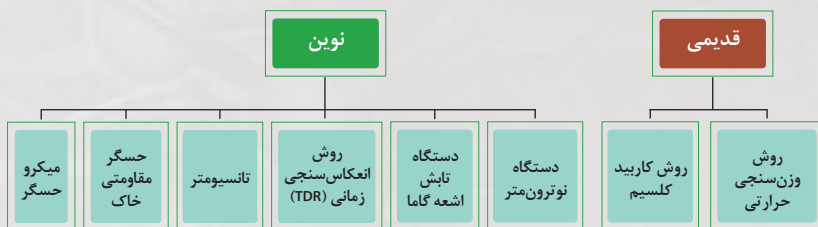
بین رطوبت ظرفیت زراعی و ناحیه پژمردگی، محدوده‌ای وجود دارد که گیاه به راحتی و بدون تنش آب مورد نیاز خود را تامین می‌کند و حداکثر رشد آن در این محدوده‌ی رطوبتی صورت می‌گیرد (شکل ۲). آبیاری بیش از حد و بالاتر از محدوده‌ی ذکر شده (نزدیک به اشباع)، فقط باعث ایجاد هرز آب و یا نفوذ آب به افق‌های پایین می‌گردد. این موضوع به معنی اتلاف بی‌مورد و کاهش بهره‌وری آب است. همچنین در دراز مدت موجب از بین رفتن و کاهش حاصلخیزی خاک نیز می‌گردد. کاهش رطوبت خاک تا ناحیه پژمردگی نیز منجر به اتلاف منابع آبی و از بین رفتن گیاه و محصول خواهد شد.

اهمیت این مسئله زمانی برای ما آشکار می‌شود که بدانیم روز به روز منابع آبی محدودتر شده و تامین رطوبت مورد نیاز خاک و گیاه به یکی از چالش‌های بشر بدل شده است. آمارهای موجود مربوط به میزان منابع آب و مصرف آن در کشورهای مختلف این نگرانی را تشدید می‌کند. خوب است که بدانیم در کشورمان ایران بیش از ۶۶ درصد بارندگی سالیانه قبل از رسیدن به رودخانه‌ها و یا ذخیره شدن در خاک، تبخیر می‌شود. از همین میزان آب باقیمانده (مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی)، بیش از ۹۲ درصد آن صرف کشاورزی و دامداری می‌شود [۲]. این بدان معنی است که به دلیل استفاده از روش‌های آبیاری سنتی، میزان بهره‌وری آب در بخش کشاورزی بسیار پایین بوده و بیش از نیاز گیاه آب مصرف شده و اتلاف می‌گردد. خشکسالی و کاهش بارندگی، وجود سیستم‌های آبیاری سنتی و بهره‌وری پایین در آبیاری، موجب شده جهت تامین آب، به منابع آب‌های زیرزمینی روی بیاوریم. بر اساس گزارش سازمان خواروبار جهانی (FAO) سالانه حدود ۷۴ کیلومتر مکعب از حجم آب‌های زیر زمینی ایران کاسته می‌شود [۳]. ادامه این روند پیامدهایی چون محدودتر شدن منابع آبی و شور شدن تدریجی آن، افزایش خشکسالی، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و شور شدن خاک، کاهش عملکرد محصول و مسائل بسیار دیگری را در پی دارد. بنابراین ضروری است که سیستم آبیاری به روز شده و میزان رطوبت خاک در تمام مدت پایش گردد. این مسئله باعث می‌شود آبیاری در حد نیاز خاک و گیاه، صورت گیرد و از آبیاری‌های بی‌مورد و اضافی جلوگیری به عمل آید.

روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک

همانطور که اشاره شد، یکی از فاکتورهای اساسی رشد گیاه میزان رطوبت خاک است. مقدار رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اثر گذار است. به همین دلیل، از دیرباز تاکنون روش‌های

مختلفی به منظور سنجش رطوبت خاک ابداع شده است که به دو دسته قدیمی و نوین تقسیم می شوند. به برخی از پرکاربردترین این روش ها در زیر اشاره شده است (شکل ۳). اما این روش ها نیز دارای معایبی هستند که تخمین رطوبت خاک را با مشکل مواجهه می کند (جدول ۱).



شکل ۳. روش های مختلف اندازه گیری میزان رطوبت خاک

جدول ۱. روش های اندازه گیری و معایب آن ها در تخمین رطوبت خاک

روش های موجود	روش اندازه گیری رطوبت	معایب
وزن سنجی حرارتی	خاک مرطوب، خشک شده و میزان رطوبت از اختلاف وزنی خاک خشک و مرطوب به دست می آید.	آزمایشگاهی بودن آن و تخریب خاک
کاربرد کلسیم	این ماده با رطوبت خاک واکنش داده و گاز استیلن منتشر شده از واکنش، نشان دهنده ی میزان رطوبت می باشد.	عدم به کار گیری از آن در خاک های رسی
دستگاه نوترون متر	میله ی این دستگاه شروع به انتشار نوترون با سرعت بالا می کند. این نوترون ها در اثر برخورد با ملکول های هیدروژن (که منبع اصلی آن ملکول های آب است) از سرعت شان کاسته می شود. تعداد نوترون های کند شده تخمینی از میزان رطوبت خاک است.	گران بودن دستگاه، خطرات ناشی از تابش نوترون، عدم امکان اندازه گیری رطوبت در لایه سطحی خاک و خاک دارای مواد آلی زیاد
دستگاه تابش اشعه گاما	این دستگاه تابش گاما را به داخل خاک گسیل می کند. از یک سمت مقطع خاک، اشعه گاما نشر پیدا کرده و در سمت دیگر اشعه ای با شدت کمتر دریافت می شود. کاهش شدت اشعه به رطوبت خاک نسبت داده می شود.	آزمایشگاهی بودن و جنبه ی تحقیقاتی داشتن، استفاده محدود در مزرعه
روش انعکاس سنجی زمانی (TDR)	دو میله ی موازی از جنس مس یا فولاد و لنتاژهای الکتریکی ایجاد می کنند. سرعت این علائم توسط موادی مانند خاک مرطوب کاهش می یابد. هرچه میزان رطوبت خاک بیشتر باشد، سرعت انتشار علائم بیشتر کاهش پیدا می کند. بدین ترتیب تخمینی از میزان رطوبت خاک بدست می آید.	گران بودن دستگاه، عدم تماس کامل میله ها با خاک (به ویژه خاک خشک)

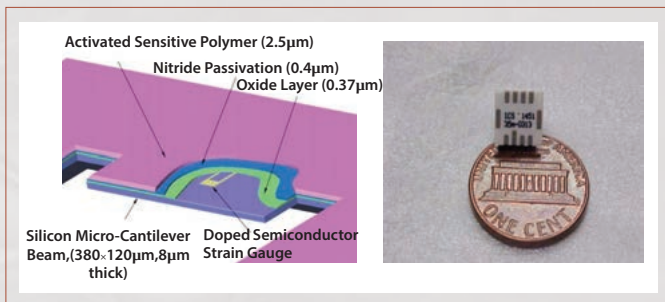
معایب	روش اندازه‌گیری رطوبت	روش‌های موجود
پایین بودن دامنه عمل آن و در محدوده‌ی رطوبتی ۰ تا ۸۰ سانتی‌بار، نیاز به زمان برای اندازه‌گیری رطوبت، نیاز به تماس کامل سرامیک با خاک برای قرائت دقیق و عدم تامین این شرایط در خاک‌های دانه درشت، نیاز به نگهداری ویژه و تامین آب لوله تانسومتر	یک لوله ساده پر از آب است که یک سمت آن خلاءسنج فلزی و سمت دیگر آن یک کلاهک سرامیکی نصب شده است. اگر میزان رطوبت خاک کاهش یابد، آب داخل تانسومتر از کلاهک سرامیکی به داخل خاک نشت کرده و در داخل لوله، خلاء ایجاد می‌شود. مقدار خلاء ایجاد شده با خلاءسنج قابل قرائت است.	تانسومتر ^۸
عدم کاربرد آن در خاک‌های شور و نیاز به واسنجی تک تک حسگرها	بلوک‌های متخلخل از جنس گچ، فایبر گلاس و یا سرامیک هستند که بوسیله‌ی دو الکترود به یک کابل متصل می‌شوند. رطوبت کسب شده در بلوک عبور جریان برق را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هر چه میزان رطوبت بیشتر باشد، مقاوت آن در برابر جریان برق کمتر خواهد بود. با اندازه‌گیری این میزان مقاوت، رطوبت آب در خاک تخمین زده می‌شود.	حسگر مقاومتی خاک ^۹
عدم کارایی خوب در رطوبت‌های بالا (در رطوبت‌های زیاد پلیمرهای به کار برده شده خواص رسانایی خود را از دست می‌دهند)	میکرو حسگرها را از مواد مختلفی چون الکترولیت‌ها، پلیمرهای آلی و سرامیک‌های متخلخل می‌سازند. این حسگرها قادرند میزان رطوبت خاک هم به صورت فیزیکی و هم به صورت تغییرات مقاومت الکتریکی (حسگر مقاومتی) اندازه‌گیری کنند.	میکرو حسگر ^{۱۱}

بنابراین، با توجه به معایب روش‌های ذکر شده، دستیابی به فناوری که چنین مشکلاتی را نداشته و در عین سادگی، قابلیت کاربرد برای شرایط مختلف را داشته باشد، بسیار ضروری است. فناوری نانو با تولید نانوحسگرها^{۱۱} توانایی برطرف کردن خلاءهای موجود را دارا است. در ادامه به توضیح مختصری از این نانوحسگرها می‌پردازیم.

نانو حسگرها

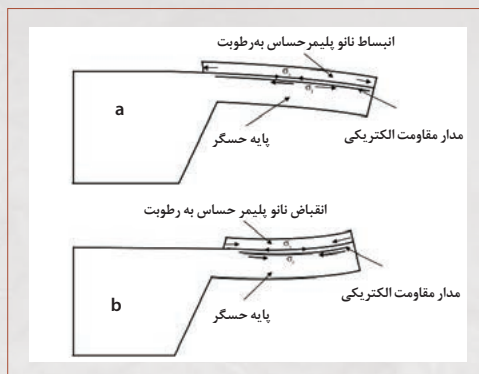
فناوری نانو بر پایه‌ی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS)^{۱۲}، مجموعه‌ای از میکرو حسگرها و نانوحسگرها را شامل می‌شوند که از آن‌ها برای کنترل شرایط محیط استفاده می‌گردد. این سیستم با قابلیت اندازه‌گیری رطوبت، از پایه و حسگر میکرو، نانو پلیمر و مدار مقاومت الکتریکی (مدار مقاومتی پل و تستون^{۱۳}) تشکیل شده است (شکل ۴).

» شکل ۴.
ابعاد و اجزاء
تشکیل دهنده
یک نانوحسگر



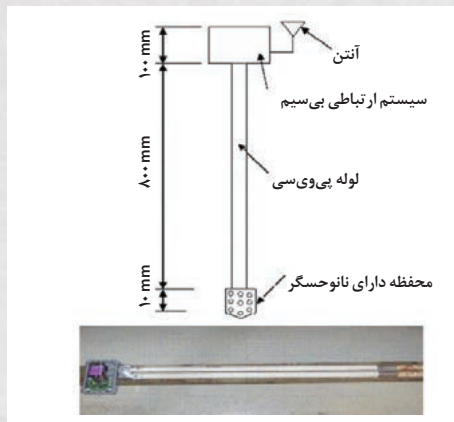
پایه این سیستم با یک نانو پلیمر حساس به رطوبت پوشش داده می شود. تحت تاثیر رطوبت خاک، تغییرات ایجاد شده در نانو پلیمر و پایه ی حسگر قابل مطالعه است. بدین صورت که، نانو پلیمر در تماس با ملکول های آب منبسط شده و در اثر این عمل پایه ی حسگر به سمت پایین متمایل می شود. همچنین در اثر از دست دادن رطوبت، نانو پلیمر منقبض شده و پایه را به سمت بالا به حرکت در می آورد (شکل ۵).

» شکل ۵. قاعده
کلی سیستم های
میکروالکترومکانیکی
(MEMS) همراه
باناو پلیمر



این انبساط و انقباض ها تا زمان به تعادل رسیدن رطوبت خاک و نانو پلیمر ادامه می یابد. میزان انحناء ایجاد شده در پایه، بوسیله ی تغییر مقاومت تنش سنسورهای قرار داده شده، اندازه گیری می شود. غلظت ملکول های آب و تنش ایجاد شده در حسگر منجر به تغییر ولتاژ در مدار الکتریکی می گردد. میزان حساسیت نانو حسگر به عواملی چون ضخامت و استحکام پایه، طول پایه، میزان رطوبت، خصوصیت نانو پلیمر و میزان تنش برشی در سطح مشترک پایه و نانو پلیمر بستگی دارد. در بین این عوامل نیز، میزان حساسیت نانو پلیمر به کار برده شده در حسگر و واکنش سریع آن به میزان رطوبت خاک بسیار مهم است. از جمله نانو پلیمر های به کار برده شده در سیستم های میکروالکترومکانیکی می توان به موادی چون PEDOT-PSS، SU-8، و PFSI^{۱۵} اشاره کرد. مواد ذکر شده از حساسیت بسیار بالایی برخوردار هستند و قابلیت کاربرد در رطوبت های بالا را دارند. همچنین نانو پلیمر ها نسبت به پلیمر های معمولی، دوام و پایداری بیشتری داشته و قادرند خصوصیت انبساطی و انقباضی خود را برای مدت طولانی تری حفظ کنند.

این حسگرها در ترکیب با سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم، برای نظارت بر رطوبت و درجه حرارت خاک، قابلیت تجاری شدن دارند. در این حالت، نانو حسگر در داخل یک محفظه، که سطح آن از منافذ متعددی تشکیل شده است، قرار داده می‌شود. محفظه دارای نانوحسگر به انتهای یک لوله پی‌وی‌سی (PVC) متصل شده و در قسمت فوقانی این لوله نیز، سیستم ارتباطی بی‌سیم قرار می‌گیرد (شکل ۶).



» شکل ۶. نانوحسگر

در ارتباط با سیستم
ارتباطی بی‌سیم و اجزاء
تشکیل‌دهنده آن

این مجموعه قابلیت جایگذاری در خاک و در یک عمق مشخص را دارا می‌باشد. آنتن به کار گرفته شده در این مجموعه قادر است اطلاعات دریافتی از نانوحسگر را به یک سیستم جمع‌آوری داده و اطلاعات را تا فاصله ۷۰ متری ارسال کند. اطلاعات به دست آمده در رایانه تجزیه و تحلیل می‌گردد (شکل ۷).



» شکل ۷. تست مزرعه‌ای نانوحسگر و ارسال اطلاعات
توسط آن

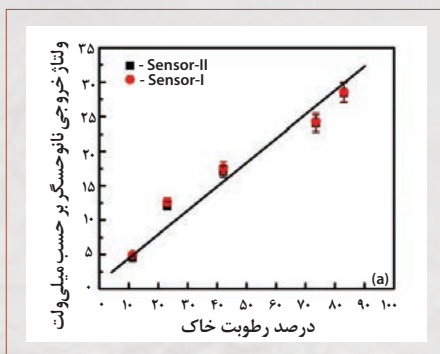
پایش رطوبت خاک و ارسال اطلاعات حاصل از آن به صورت بی‌سیم، این امکان را فراهم می‌آورد که کشاورز بدون حضور در مزرعه، اطلاعات دقیقی در مورد میزان رطوبت خاک کسب کند. این امر موجب می‌شود که مزرعه‌دار در زمان نیاز گیاه، آبیاری را انجام دهد. از سوی دیگر، آبیاری تا حدی انجام گردد که منجر به تولید آب ثقیل نشود. تمامی این عوامل موجب افزایش کارایی سیستم آبیاری و بهینه‌تر شدن مصرف آب می‌گردد.

برتری نانوحسگرها نسبت به سایر روش‌ها

برتری نانوحسگرهای تشخیص‌دهنده و کنترل‌کننده رطوبت خاک به این دلیل است که می‌تواند در کسری از ثانیه، اطلاعات مربوط به میزان رطوبت و کوچکترین تغییرات ایجاد شده در رطوبت خاک را ثبت کرده

و ارسال کند. تکرارپذیری بودن اعداد و ارقام بدست آمده از چنین سیستم‌هایی و امکان به کارگیری از این قطعات در شرایط مختلف و خاک‌های گوناگون، از قابلیت‌های بارز این نانوحسگرها می‌باشد. همچنین از این نانوحسگرها می‌توان برای مدت‌های طولانی در مزرعه بهره برد بدون آنکه کوچکترین خللی در کارایی آن‌ها پدیدار شود.

در تحقیقی، سه نمونه مختلف خاک شامل خاک بنتونیت، خاک رس سفید و خاک شنی تهیه شد و رطوبت‌های مختلف به این نمونه خاک‌ها اعمال گردید. نانوحسگرها در داخل هر کدام از این خاک‌ها قرار گرفته و در فواصل زمانی مختلف، تغییر در ولتاژ خروجی حسگر با توجه به تغییر مقدار آب خاک ثبت شد. حداکثر میزان رطوبت در خاک بنتونیت ۸۳ درصد، خاک رس سفید ۶۷ درصد و خاک شنی ۲۳ درصد بود که میزان ولتاژ خروجی نانوحسگر برای هر کدام از خاک‌ها، به ترتیب ۲۸، ۲۶ و ۱۹ میلی ولت ثبت شد. در تکرارهای بعدی نیز همین اعداد بدست آمد. این نانوحسگرها توانستند تغییرات بسیار اندک و جزئی رطوبت خاک در حد ۰/۱ درصد را ثبت کرده و نشان دهند. همچنین به یک نمونه خاک بنتونیت، درصدهای مختلفی از رطوبت اعمال شده و در هر مرحله میزان رطوبت خاک با استفاده از دو نانوحسگر قرائت شد. نتایج نشان داد که نانوحسگرها اعداد یکسانی را در ولتاژ خروجی نشان می‌دهند و همچنین بین میزان رطوبت خاک و ولتاژ خروجی یک رابطه‌ی خطی پدیدار گشت که نشان از دقت بالای نانوحسگر در تعیین میزان رطوبت خاک است (شکل ۸).



شکل ۸. اندازه‌گیری
میزان رطوبت خاک بنتونیت با
استفاده از نانوحسگر

محصولات تجاری و پیش‌بینی بازار

کامبود آب و اهمیت آن برای رشد گیاه شده تا محققین حساسیت زیادی نسبت به میزان رطوبت خاک داشته باشند. متخصصین کشاورزی سعی دارند تا با به کارگیری فناوری‌های نوینی چون نانوحسگرها، میزان رطوبت خاک را در حد نیاز گیاه ثابت نگه داشته و بدین ترتیب از آبیاری‌های بی‌مورد و اضافی جلوگیری به عمل آورند. کشور ما ایران نیز با کامبود منابع آب رو برو است و تغییر شرایط آب و هوایی موجب شده که هر ساله بر خورداری ایران از نزولات آسمانی کاهش یابد و منابع آب محدودتر شود. از سوی دیگر روش‌های آبیاری با راندمان پایین، موجب هدر رفتن منابع آبی ارزشمند می‌شوند. بنابراین بسیار ضروری است، میزان آب مصرفی در زمین‌های کشاورزی به طور مداوم کنترل و پایش گردد. به همین منظور، استفاده از فناوری‌های جدید و مقرون به صرفه را باید در دستور کار قرار داد. فناوری نانو می‌تواند با تولید نانوحسگرهای تشخیص‌دهنده

رطوبت خاک به کمک کشاورزی ایران باید. لازم است تا از این قبیل فناوری‌های مقرون به صرفه و دقیق در کشور استفاده کرد تا مدیریت مصرف آب کشاورزی و پایش رطوبت خاک به شکل مناسب صورت پذیرد. در جدول ۲ نام برخی از موسسات تحقیقاتی که به دنبال تولید نانوحسگرها و تجاری‌سازی آن‌ها هستند، ذکر شده است.

جدول ۲. برخی موسسات تحقیقاتی فعال در زمینه تولید و تجاری‌سازی نانوحسگرها

کشور	نام موسسه تحقیقاتی
آمریکا	دانشگاه Louisiana Tech [۷]
آمریکا	دانشگاه Cornell [۸]
آمریکا	دانشگاه Alabama A&M [۹]
هند	موسسه IIT-Bambay [۱۰]

همانطور که اشاره شد، نانوحسگرهای تشخیص دهنده رطوبت خاک بر پایه سیستم‌های میکروالکترومکانیکی بنا نهاده شده‌اند. حسگرهای میکروالکترومکانیکی (MEMS) و نانوحسگرها کاربردهای متنوعی در علوم مختلف از جمله کشاورزی دارند. حجم بازار این قبیل محصولات در سال ۲۰۰۷، ۲/۵ میلیارد دلار بوده است. در آن سال پیش‌بینی شد که میزان گردش مالی این بازار در بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳، رشد ۲۱/۷ درصدی داشته باشد [۱۱]. در سال ۲۰۱۲ میزان فروش این محصولات به ۸/۵ میلیارد دلار رسید و و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۸ این میزان فروش، سالانه حدود ۱۰/۷ درصد رشد داشته باشد [۱۲].

مزیت‌های استفاده از نانوحسگرها به منظور تعیین رطوبت خاک

- حساسیت بسیار بالا به میزان رطوبت خاک و ثبت دقیق میزان رطوبت
- قابلیت به کارگیری از آن در شرایط مختلف رطوبتی خاک
- قابلیت استفاده از آن در انواع خاک‌ها (رسی، شنی، سیلتی، خاک با مواد آلی زیاد و خاک شور)
- استفاده آسان از دستگاه و عدم نیاز به متخصص و قابلیت حمل و نقل بسیار آسان
- قابلیت استفاده از آن در عمق‌های مختلف خاک و تعیین میزان رطوبت هر بخشی از خاک

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| ۱ Consistency | ۷ Time Domain Reflectometry |
| ۲ Plasticity | ۸ Tensiometer |
| ۳ Strength | ۹ Soil Resistivity Sensor |
| ۴ Compactibility | ۱۰ Microsensor |
| ۵ Penetrability | ۱۱ Nanosensor |
| ۶ Trafficability | ۱۲ Micro Electro Mechanical System |

۱۳ Wheatstone Bridge

poly(styrenesulfonate)

۱۴ Polymer poly(3,4-
ethylenedioxythiophene)

۱۵ Perfluorosulfonate ionomer

مراجع

- ۱ علیزاده، ا. ۱۳۹۲. فیزیک خاک. چاپ ششم. انتشارات آستان قدس رضوی. ۵۶۷ صفحه. مشهد، ایران.
- ۲ FAO. 2008. Irrigation in the Middle East region in figures, AQUASTAT Survey. FAO Water Reports. Food and Agriculture Organization of United Nations, www.fao.org.
- ۳ FAO. 2012. Irrigation water requirement and water withdrawal by country. FAO Water Reports. Food and Agriculture Organization of United Nations, www.fao.org.
- ۴ Susha Lekshmi S.U., D.N. Singh, Maryam Shojaei Baghini, A critical review of soil moisture measurement, Measurement, Volume 54, August 2014, Pages 92-105.
- ۵ Jie Liu, Mangilal Agarwal, Kody Varahramyan, Ernest S. Berney IV, Wayne D. Hodo, Polymer-based microsensor for soil moisture measurement, Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 129, Issue 2, 22 February 2008, Pages 599-604.
- ۶ Tyronese Jackson, Katrina Mansfield, Mohamed Saafi, Tommy Colman, Peter Romine, Measuring soil temperature and moisture using wireless MEMS sensors, Measurement, Volume 41, Issue 4, May 2008, Pages 381-390
- ۷ Sheetal J. Patil, Arindam Adhikari, Maryam Shojaei Baghini, V. Ramgopal Rao, An ultra-sensitive piezoresistive polymer nano-composite microcantilever platform for humidity and soil moisture detection, Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 203, November 2014, Pages 165-173.
- ۸ www.latech.edu
- ۹ www.cornell.edu
- ۱۰ www.aamu.edu
- ۱۱ www.iitb.ac.in2
- ۱۲ www.bccresearch.com
- ۱۳ www.electronics.ca/store/mems-biosensors-and-nanosensors.html

مجموعه نرم افزارهای «نانو و صنعت»



مجموعه نرم افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانوساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خودترمیم‌شوندگی
- لوله‌های حرارتی و کاربردهای آن در انتقال انرژی حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی
- نانوحسگرها جهت پایش شاخص‌های حیاتی بدن
- سیستم یون‌زدایی خازنی (CDI)
- کاربرد نانو در متالورژی پودر فلزات
- کاربرد فناوری نانو در پوشش‌های ضد نقش و ضد نوشتار
- میکرو/نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب
- نانوحسگرهای تشخیص دهنده مواد منفجره
- استفاده از نانوذرات پلیمری بر پایه PLGA برای دارورسانی هدفمند
- کاربرد فناوری نانو جهت گندزدایی از آب به روش ازوناسیون
- تصفیه آب با استفاده از غشاء سرامیکی نانو فیلتراسیون
- کاربرد فناوری نانو در گچ ساختمانی
- تصفیه آب با استفاده از غشاهای نانوالیاف
- کاربرد فناوری نانو در صنعت آب
- کاربردهای فناوری نانو در منسوجات خانگی
- فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی
- نانو حسگرهای پایش کیفیت آب
- نانوحسگرهای مورد استفاده در صنایع غذایی و آشامیدنی
- کاربردهای فناوری نانو در صنعت هوافضا
- فولادهای نانوساختار
- فناوری نانو و محیط‌های کنترل شده کشت (CEA)
- نانوحسگرهای تشخیص سموم کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در ریشه‌های هوشمند (۱)
- نانوآفت‌کش و اثر آن در کنترل آفات
- کاربرد فناوری نانو در صنعت مفره
- کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی
- کاربردهای فناوری نانو در روغن‌های روان‌کننده
- نانو افزودنی‌های سوخت
- کاربردهای نانوالیاف در کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در سیمان و سیال حفاری
- کاربرد نانوساختارها در فناوری‌های جداسازی غشایی
- نانوفیلترهای لیفی
- فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌روی آب در نیروگاه‌های گرمایی
- فولاد نانوساختار Sandvik Nano flex
- کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل
- کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان LED
- کاربردهای فناوری نانو در تولید انرژی الکتریکی
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنعت خودرو
- کاربرد نانوکامپوزیت‌های پلیمری در صنعت خودرو
- کاربرد فناوری نانو در پوشاک
- کاربرد فناوری نانو در رنگری منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات ورزشی / بیرونی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات خود تمیزشونده
- سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه‌ای
- نانوحسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در هوا
- نانوحسگرهای تشخیص دهنده پاتوژن‌های میکروبی در مواد غذایی
- کاربردهای فناوری نانو در چاه ارت