# کاربرد فناوری نانو در مهندسی آب

*جهانگیرعابدی کوپایی[۱]، بهروز مصطفی زاده فرد[۲] و محمد جواد امیری[۳]*

۱- دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان Email: koupai@cc.iut.ac.ir
۲- استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان Email: behrouz@cc.iut.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان Email: mjavad.amiri62@gmail.com

**چکیده:**

بحران آب یکی از مسایل اساسی مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران است که این وضعیت در سالهای اخیر به دلیل وقوع پدیده خشکسالی حادتر شده است. بنابراین با نگاهی به مشکلات تأمین آب در ایران و نیاز مبرم کشور به منابع جدید، می‌توان از فناوریهای نوین در این راه بهره جست. با توجه به اینکه در سالهای اخیر تحقیقات نانو مورد توجه قرار گرفته است، به نظر می‌رسد که در سمت و سودهی برنامه‌های کلان آب کشور از فناوری نانو به عنوان یک پشتیبان قوی استفاده گردد. ورود فناوری نانو به عرصه کشاورزی به خصوص صنعت آب می‌تواند به عنوان شاخه جدیدی از موضوعات تحقیقاتی مطرح باشد. در بخشهای مختلف صنعت آب، شامل ساخت سدها، حفاظت خطوط لوله انتقال آب، تصفیه آب و پساب، شیرین سازی آب و غیره، فناوری نانو کاربرد دارد. در مقاله حاضر به برخی از موارد استفاده از فناوری نانو مانند کاهش EC آب آبیاری با استفاده از نانو ذرات در آبیاری قطره ای،کاربرد فناوری نانو درمحیط زیست، نانو حسگرها، نانوفیلتراسیون و تأثیر نانو ذرات در بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سازه های آبی اشاره می شود.

**واژه‌های کلیدی:** بحران آب، فناوری نانو، مهندسی آب

**Abstract:**

Water crisis is one of the basic issues of arid and semi-arid regions like Iran. In recent years the situation has been acute due to the occurrence of the drought phenomenon. looking at the problems of water supply in Iran and the urgent need of more resources, new technologies like nanotechnology can draw more attention. In different sectors of water industry, including construction of dams, protection of water pipelines, water and wastewater treatment, fresh water and etc., nanotechnology has been applied. In this article, some cases of application of nanotechnology such as reducing electric conductivity of irrigation water by using nano particles in trickle irrigation, use of nanotechnology in environmental halophile, nano sensors, nano filtration and effect of nono particles in improving mechanical properties of hydraulic structure are mentioned.

**Key words:** Water crisis, Nanotechnology, water engineering

**۱. مقدمه**

علم و فناوری نانو توانایی بدست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری( مولکولی ) و بهره برداری از خواص و پدیده های این بعد از ماده در ابزارها و سیستم های نوین است. این تعریف ساده خود دربرگیرنده معانی زیادی است. به عنوان مثال فناوری نانو با طبیعت فرا رشته ای خود در آینده در برگیرنده همه ی فناوری های امروزین خواهد بود و به جای رقابت با فناوری ای موجود مسیر رشد آنها را در دست می‌گیرد[۱]. استفاده از فنآوری‌های نوین به خصوص فنآوری نانو در راستای کاهش اثرات سوء آلودگیهای زیست محیطی، به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی مطرح می باشد. یکی از مواردی که این فنآوری کاربرد خود را نمایان میسازد در ارتباط با منابع آب می باشد که در نظر گرفتن چالشهای پیش رو ضرورت استفاده از آن را پر رنگتر نموده است. فقدان دسترسی به آب تمیز و بهداشتی در کشورهای در حال توسعه، اولویت توسعه فن آوری نانو را مطرح می کند. مواد با پایه فنآوری نانو می توانند به فنآوریهای تصفیه آب ارزان قیمت تر، بادوام تر و مؤثرتری منجر شوند که نیازهای کشورهای در حال توسعه را برآورده می‌سازند. تعدادی از روشها و دستگاههای تصفیه آب که با موادی در مقیاس نانو کار می کنند، اکنون بصورت تجاری در دسترس هستند و بقیه در حال توسعه می باشند. این فرآوردها با پایه فنآوری نانو شامل فیلترهای آب، غشاهای فیلتراسیون، کاتالیزورها و ذرات نانو برای اصلاح آبهای سطحی می باشند [۲].

## ۲. تعریف فناوری نانو

یک نانومتر برابر با یک میلیاردم متر ($۱۰^{-۹}$m) ، یک ده هزارم قطر موی انسان و کوچکتر از یک هزارم یک سلول خون قرمز و حدود نصف اندازه قطرDNA است. در بحث حاضر فناوری نانو عبارت است از گسترش پژوهش و تکنولوژی در سطح اتمی، مولکولی یا ماکرومولکولی با استفاده از مقیاس طولی حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، تولید و استفاده از ساختارها، تجهیزات و سیستمهایی که خواص و عملکرد جدیدی به علت اندازهٔ کوچک خود داشته باشند.وجود مقیاس‌های متفاوت در آنها، استفاده از روش‌های با توانایی تفکیک بالا از جمله روش‌های طیفی و فشرده را طلب می‌کند [۳].

## ۳. نانو تکنولوژی و محیط زیست پایدار

نانو تکنولوژی قادر است با پرداختن به پایداری دراز مدت منابع مذکور در جدول ۱ به حفاظت محیط زیست کمک کند. برخی از کاربردها پلی است بین منابع مختلف. برای مثال، صنعت سبز با استفاده از نانو تکنولوژی می تواند فرایند ساخت را توسط افزایش مواد و بازده انرژی و کاهش نیاز به حلال‌ها و کاهش قابل توجه مواد زائد ارتقاء دهد[۳].

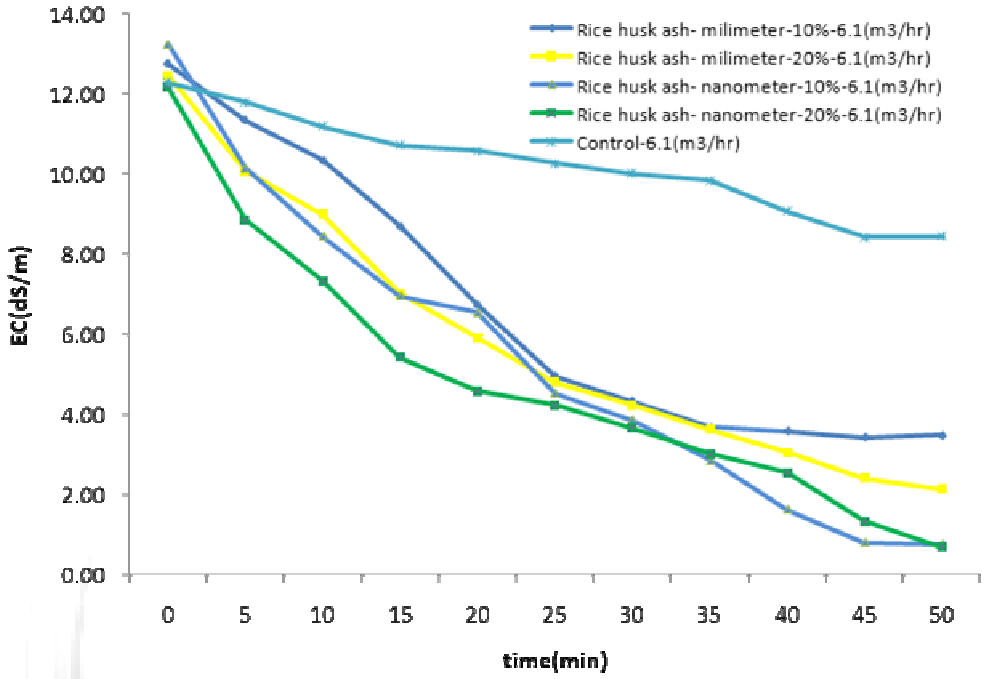
**جدول ۱- دستاوردهایی برای استفاده پایدار از منابع**

| | |
|---|---|
| آب | توسعه پایدار منابع آب از جنبه کیفیت و کمیت برای استفاده‌های مطلوب |
| انرژی | تولید انرژی پاک و استفاده مؤثر از آن |
| مواد | استفاده دقیق از مواد و تغییر جهت به استفاده از موادی که با محیط زیست سازگارند |
| اکوسیستم | حفاظت اکوسیستم |
| زمین | حمایت از جنبه‌های اکولوژیکی مدیریت و توسعه اراضی |
| هوا | حمایت از هوای پاک و سالم |

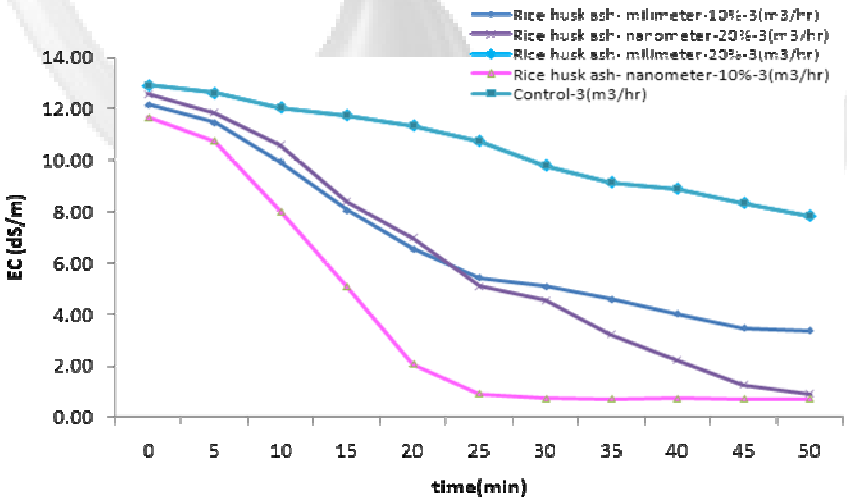
۴. برخی کابردهای فناوری نانو درعرصه صنعت آب

**الف) کاهشEC آب آبیاری با استفاده از نانو ذرات در محیط متخلخل سیستم آبیاری قطره ای**

در حال حاضر یکی از مناسب ترین روشها برای افزایش راندمان آبیاری و مقابله با بحران آب استفاده از آبیاری تحت فشار و از جمله آبیاری قطره ای است. آبیاری قطره ای تفاوت فاحشی با دیگر سیستم های آبیاری دارد، زیرا در این سیستم فقط مساحت بسیار محدودی از اطراف گیاه آبیاری می شود. مشکل ترین مسأله در آبیاری قطره ای انسداد قطره چکان هاست. عمده ترین دلیل بسته شدن قطره چکان ها، وجود املاح معدنی و آلی در آب است. بهترین روش مقابله، نصب فیلتر در محل ورودی آب است تا از ورود این گونه مواد جلوگیری و یا از تشکیل این مواد در درون سیستم جلوگیری کند، زیرا تمیز کردن و یا عوض کردن قطره چکانهای مسدود شده بسیار گران تمام می شود. یکی از راه حل ها کاربرد فناوری های نوین از جمله فناوری نانو در فیلتر شنی سیستم آبیاری قطره ای است. مزایای استفاده از نانو مواد برای پالایش محیط زیست سریعتر و ارزان‌تر از روش های رایج فعلی است. این مزیت ها ناشی از واکنش بهتر، سطح ویژه، انتقال بهتر، انتقال زیر سطحی و یا ویژگی کمپلکس سازی نانو مواد است[۴]. خاکستر پوسته شلتوک از محصولات جانبی تولیدات کشاورزی به شمار می آید. با توجه به محدودیت آب و شور بودن روز افزون منابع آب، مطالعه استفاده از آب های شور و لب شور در آبیاری ضروری می باشد. بررسی و تحقیق اثر استفاده از آب‌های شور و لب شور در فیلتر سیستم آبیاری قطره ای با استفاده از ذرات خاکستر پوسته شلتوک در اندازه ها و سطوح مختلف در آن، وجود دبی های متفاوت ورودی به سیستم فیلتر شنی بر اهمیت کار در جهت عدم گرفتگی قطره چکان ها می افزاید[۵]. در این راستا تحقیقی به منظور کاهش EC آب آبیاری، از خاکستر بقایای گیاهی پوسته شلتوک، در دو اندازه میلی ذرات و نانو ذرات با دو سطح حجم ذرات ۱۰ و ۲۰ درصد، درفیلتر شنی سیستم آبیاری قطره ای توسط عابدی کوپائی و مهری اصفهانی صورت گرفت. همچنین دبی ورودی به محیط متخلخل فیلتر شن دارای دو سطح $hr/m^3$ ۳ و $hr/m^3$ ۱/۶ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد، کاربرد نانو ذرات پوسته شلتوک (با $hr/m^3$ ۱/۶دبی ورودی به سیستم) میانگین EC را ۹۳٪ کاهش می دهد. نانو ذرات نیز در کاهش کاتیون و آنیون های موجود در آب عملکرد بهتری را نسبت به میلی ذرات نشان دادند. حجم ۱۰ درصدی جاذب در محیط متخلخل روند بهتری از کاهشی یون ها را در فیلتر نشان دادند. سرعت کاهش EC در ۲۰ دقیقه ابتدایی آزمایش بیشتر بود و بعد از ۴۰ دقیقه به تعادل نزدیک شد. به طور کلی کاربرد خاکستر پوسته شلتوک باعث کاهش EC آب به مقدار ۵/۸۱ درصد شد. شکل (۱) شمای کلی طرح در سیستم صحرائی را نشان می دهد.




شکل ۱. کاهش EC با استفاده نسبت به زمان در خاکستر پوسته شلتوک و شاهد در دبی $m^3/hr$ ۱/۶ [۶].




شکل۲.کاهش EC با استفاده نسبت به زمان در خاکستر پوسته شلتوک و شاهد در دبی $m^3/hr$ ۳ [۶].

**ب) تاثیر نانو ذرات RHA در بهبود خصوصیات فیزیکی ومکانیکی سازه های آبی**

از جمله ضایعات کشاورزی، پوسته شلتوک می‌باشد. در مناطقی که برنج کشت می‌شود سالانه مقادیر زیادی پوسته شلتوک تولید می‌شود که یکی از مشکلات کشاورزان از بین بردن آن است. حمل پوسته شلتوک بدلیل وزن واحد حجم مشکل می‌باشد بنابراین در حال حاضر کشاورزان مجبورند آن را در هوای آزاد بسوزانند. سوزاندن پوسته شلتوک در هوای آزاد باعث آلودگی شده و از طرفی حجم زیاد خاکستر حاصله مشکلاتی ایجاد می‌کند. تولید سالانه برنج در جهان حدود ۵۰۰ میلیون تن می‌باشد. بنابراین سالانه حدود ۱۰۰ میلیون تن (۲۰ درصد) پوسته شلتوک قابل مصرف در صنعت، در جهان بدست می‌آید. در ایران نیز سالانه حدود ۲/۵ میلیون تن برنج تولید می‌شود که میزان پوسته حاصله حدوداً ۰/۵ میلیون تن در سال می‌باشد، که ایجاب می‌کند تحقیقات همه جانبه‌ای برای مصرف صنعتی آن بعمل آید[۵]. در این راستا تحقیقی به منظور امکان استفاده از نانو ذرات خاکستر پوسته شلتوک(RHA) ، بجای بخشی از سیمان بتن برای پوشش دار کردن کانالهای خاکی برای جلوگیری از تلفات نشت و بالا بردن راندمان انتقال آب، توسط عابدی کوپایی صورت گرفت[۳]. بدین منظور حجم شن و ماسه بتن به صورت مجموع و به میزان ۲۰،۰و۳۰ درصد کاهش داده شده و به جای آن خاکسترپوسته شلتوک جایگزین گردید. برای بررسی نشت حاصل از بتن حاوی خاکسترپوسته شلتوک، با استفاده از بتن ساخته شده با درصدهای مختلف خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی، تعداد ۹ کانال خاکی احداث گردید و با ترکیبات بتنی مختلف پوشش داده شد. میانگین میزان نشت به روش حوضچه‌ای اندازه‌گیری شد. مقایسه میزان تراوش حاصل از پوشش بتنی حاوی ۲۰٪ خاکستر پوسته شلتوک با تراوش پوشش‌های بدون خاکستر پوسته شلتوک نشان می‌دهد که میزان نشت به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. از آنجا که بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کنندهٔ آب در زیر ساختهای مختلف اقتصادی کشور است، تلفات عمده آب نیز به این بخش تعلق دارد، لذا افزایش کارآیی مصرف آب که یکی از مهمترین آنها افزایش کارآئی شبکه‌های آبیاری می باشد، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

**ب.۱. انجام ازمایشهای صحرایی**

برای اجرای کانالها، زمین مورد نظر که در مزرعه دانشگاه صنعتی واقع می‌باشد، تسطیح و سپس تعداد ۹ کانال خاکی احداث گردید. پس از آماده‌سازی کانال، بتن مورد نیاز برای پوشش دادن کانالها براساس طرح اختلاط مورد نظر ساخته شد. بدین ترتیب پس از اتمام عملیات اجرایی ۹ عدد کانال بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای ساخته شد. مشخصات نهایی طرح به شرح جدول ۲ می‌باشد. پس از اجرای کانالها، اقدام به عمل‌آوری پوشش بتن به روش آبپاشی گردید. برای ایجاد حوضچه به منظور انجام آزمایش تعیین میزان نشت، طرفین هر کدام از قطعات کانالها با استفاده از سنگ تیشه‌ای مسدود و درزهای موجود با استفاده از خمیر پلاستیک آب‌بندی گردید. برای انجام آزمایش تعیین میزان نشت، کانالهای مورد آزمایش را از آب پر کرده و برای جلوگیری از تأثیر تبخیر بر میزان نشت سطح فوقانی کانالها با استفاده از نایلون پوشانده شد[۳].

**جدول ۲- مشخصات کانالها**

| عرض کف (سانتی‌متر) | عرض بالایی (سانتیمتر) | ارتفاع (سانتیمتر) | شیب جداره | ضخامت بتن (سانتیمتر) |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰ | ۹۵ | ۲۲ | ۱/۵ | ۵ |

### ب.۲. تعیین میزان نشت از کانالها

روشی که نسبت به سایر روشها از دقت بیشتری برخوردار است به ویژه هنگامی که میزان تلفات کم است، روش حوضچه‌ای (Ponding method) می‌باشد. نتایج به دست آمده از این روش معمولاً مبنای مقایسه برای دیگر روشهای اندازه‌گیری تلفات نشت به کار می‌رود. به همین خاطر برای اندازه‌گیری میزان تراوش حاصل از کانالهای مورد آزمایش در این تحقیق از این روش استفاده گردید که عبارت است از:

$$S = \frac{T(Y_1 - Y_2)L}{P.L} \qquad (۱)$$

S: میانگین نشت در طول L (مترمکعب در متر مربع در ۲۴ ساعت)، T: متوسط سطح آب حوضچه (متر)، Y۱: عمق آب در شروع اندازه‌گیری (متر)، Y۲: عمق آب بعد از ۲۴ ساعت (متر)، L : طول کانال مورد آزمایش (متر)، P : میانگین محیط خیس شده (متر) [۳].

**شکل ۳- کانل های احداث شده با بتن حاوی مقادیر مختلف نانو ذرات RHA**

تعیین میزان نشت از کانالها یکی از عوامل موثر بر میزان نشت خصوصیات فیزیکی خاک اطراف کانال می باشد, لذا بررسی این خصوصیات به منظور شناخت ضروری بنظر می رسد. مهمترین این خصوصیات بافت و هدایت هیدرولیکی می باشد. آزمایش تعیین بافت خاک اظراف هر کدام از کانالها به روش هیدرومتری انجام گرفت. برای تعیین هدایت هیدرولیکی خاک اطراف کانالها از روش تراوش سنج گلف (Guelph permeameter method) استفاده شد.

### ب.۳. نتایج آزمایشهای تعیین مقاومت فشاری نمونه های نگهداری شده در داخل آب

برای تعیین مقاومت فشاری بتنهای ساخته شده با درصدهای مختلف خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی، تعداد ۴۵ نمونه مکعبی از چهار تیمار A، B و C (۱۵ نمونه مکعبی از هر تیمار) برای نگهداری در آب ساخته شد. تمامی نمونه ها در سنین ۷، ۲۸، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج بدست آمده برای هر بتن و در سن موردنظر در جدول ۳ آمده است که هر کدام میانگین سه نمونه می باشد.

**شکل۴ الف- نمای کوره طراحی شده برای تهیه خاکستر پوسته شلتوک ب- نحوه کنترل درجه حرارت کوره با باز و بسته کردن دریجه فوقانی و تحتانی و ج- نحوه اندازه گیری درجه حرارت کوره به وسیله ترموکوپل**

**جدول ۳- مقاومت فشاری بتن ساخته شده با درصدهای مختلف خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی در سنین مختلف در محیط آب[۳].**

| بتن | خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی (درصد) | مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۷ روزه | ۲۸ روزه | ۶۰ روزه | ۹۰ روزه | ۱۸۰ روزه |
| A | ۰ | ۲/۲۱۲ | ۵/۲۴۶ | ۲/۲۶۱ | ۷/۲۸۵ | ۶/۳۰۴ |
| B | ۲۰ | ۱۵۹ | ۷/۱۹۴ | ۸/۲۹۹ | ۲۶۰ | ۴/۲۸۹ |
| C | ۳۰ | ۷/۱۱۸ | ۵/۱۵۰ | ۹/۱۸۷ | ۷/۲۱۵ | ۲۵۸ |

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول فوق مشاهده می گردد که در تمام موارد مقاومت فشاری بتن با سن آن افزایش می یابد. میزان کسب مقاومت در سنین پائین، بالا تر بوده و با افزایش سن نمونه ها، کاهش می یابد. با توجه به بالاتر بودن نسبت آب به سیمان در بتنهای حاوی خاکستر پوسته شلتوک نسبت به بتن کنترل (بتن فاقد خاکستر پوسته شلتوک) مقاومت این بتن در تمام سنین کمتر از بتن کنترل می باشد. اما با این وجود نتایج بدست آمده نشان دهنده فعالیت پوزولانی در بتن حاوی خاکستر پوسته شلتوک با گذشت زمان می باشد.به طوری که نسبت مقاومت فشاری بتن حاوی۲۰ درصد خاکستر پوسته شلتوک به بتن کنترل در سن ۷ روزه، ۷۴/۹ درصد می باشد که در سن ۱۸۰ روزه این نسبت به ۹۵ درصد بالغ می گردد. همانطور که از جدول مشخص است شدت کسب مقاومت نهایی برای بتن حاوی خاکستر پوسته شلتوک، بیشتر از بتن کنترل می باشد. به عبارتی در سن ۷ روزه بتن کنترل ۷۰ دصد مقاومت ۱۸۰ روزه را کسب کرده است. در حالی که بتن ساخته شده با ۳۰ درصد خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی، ۴۶ درصد مقاومت ۱۸۰ روزه را کسب کرده است. بنابراین میزان کسب مقاومت برای بتن حاوی ۳۰ درصد خاکستر پوسته شلتوک در فاصله ۷ تا ۱۸۰ روز بیشتر از بتن کنترل می باشد.

**ب.۴. نتایج آزمایشهای تعیین مقاومت کششی**

نتایج آزمایشهای تعیین مقاومت کششی نمونه های نگهداری شده در داخل آب برای تعیین مقاومت کششی بتنهای ساخته شده با درصدهای مختلف خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی، تعداد ۴۵ نمونه استوانه ای از چهار تیمار A, B و C (۱۵ نمونه استوانه ای از هر تیمار) ساخته شد و تا یک روز قبل از آزمایش در داخل آب با دمای ۲ ±۲۰ درجه سانتیگراد نگهداری گردید. تمامی نمونه ها در سنین ۷، ۲۸، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از آزمایشهای تعیین مقاومت کششی برای درصدهای مختلف خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی در جدول۴ آمده است.

جدول ۴- مقاومت کششی بتن های ساخته شده با درصدهای مختلف خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی در سنین مختلف در محیط آب[۳].

| بتن | خاکستر پوسته شلتوک جایگزینی (درصد) | مقاومت کششی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۷ روزه | ۲۸ روزه | ۶۰ روزه | ۹۰ روزه | ۱۸۰ روزه |
| A | ۰ | ۵/۲۶ | ۴/۳۰ | ۲/۳۱ | ۴/۳۲ | ۵/۳۴ |
| B | ۲۰ | ۲۲ | ۲۶ | ۳/۲۸ | ۳۱ | ۷/۳۵ |
| C | ۳۰ | ۲۰ | ۵/۲۴ | ۲۷ | ۵/۳ | ۸/۳۳ |

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۷ مشاهده می گردد که در تمام موارد مقاومت کششی بتن با افزایش سن آن افزایش می یابد. میزان کسب مقاومت در سنین پائین بالاتر بوده و با افزایش سن نمونه ها کاهش می یابد. همچنین مشاهده می شود که مقاومت کششی بتن های حاوی خاکستر پوسته شلتوک در سنین پائین، کمتر از مقاومت کششی بتن کنترل می باشد ولی درسنین بالاتر به علت انجام واکنشهای پوزولانی خاکستر پوسته شلتوک، روند کسب مقاومت کششی افزایش می یابد به طوری که در سن ۱۸۰ روزه، مقادیر مقاومت کششی در اکثر موارد با هم برابر بوده و حتی در مورد بتن حاوی ۲۰ درصد خاکستر پوسته شلتوک، این مقدار بیشتر از بتن کنترل می باشد. مقایسه مقاومت کششی بتنهای حاوی ۳۰ درصد خاکستر پوسته شلتوک با مقاومت کششی بتن هایی که در آنها از ترکیب ۲۰ درصد خاکستر پوسته استفاده شده است، نشان می دهد که مقاومت کششی این دو نوع بتن در تمامی سنین مورد آزمایش تقریباً یکسان می باشد

با توجه به نتایج حاصله ، ملاحظه می گردد که روند کسب مقاومت کششی مشابه روند کسب مقاومت فشاری نمونه ها می باشد. مقاومت کششی نیز با گذشت زمان افزایش می یابد. از نتایج مقاومت فشاری و مقاومت کششی ملاحظه می گردد که دو نوع مقاومت وابستگی زیادی به هم دارند. این ارتباط بستگی به عاملهای زیادی دارد ، اما می توان این طور نتیجه گرفت که با افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی نیز افزایش می یابد.

**ج) کاربرد فناوری نانو در محیط زیست**

انتظار می‌رود در ۵۰ سال آینده، جمعیت جهان ۵۰٪ و مصرف انرژی و مواد نیز رشد ۳۰۰٪ داشته باشد. تاکنون سطوح فزاینده تولید و مصرف، با دستاوردهای ما در زمینه فناوری‌های با بازده بیشتر وپاک تر، مقابله کرده است. از

جمله این موارد می توان به تولید مواد زائد جامد شهری، اثرات زیست محیطی ناشی از وسائط نقلیه، آلودگی آبهای زیرزمینی و رواناب کشاورزی اشاره نمود. فناوری نانو فرصتهای جدیدی را برای تولید مواد و محصولات بهتر ارائه می دهد. فناوری نانو پتانسیل زیادی برای ارتقائ محیط زیست از دو طریق کاربرد مستقیم نانو مواد برای ردیابی، پیشگیری و رفع آلاینده ها و کاربرد غیر مستقیم با استفاده با از استفاده از فرایند طراحی صنعتی تمیزتر و تولیدات محصولات سازگار با محیط زیست دارد. نانو تکنولوژی میتواند مواد و تولیداتی خلق کند که نه تنها بتوانیم آلاینده‌های محیط زیست را ردیابی، پالایش و پاکسازی کنیم، بلکه به ما کمک می‌کند تا از بروز آلودگی در اولین جا جلوگیری کنیم. با استفاده مؤثر از اتمها و انرژی در سرتاسر سیکل تولید، نانو تکنولوژی میتواند در کاهش آلودگی یا کاهش مصرف انرژی تولیدات مشارکت کند[۳].

**د) نانو حسگرها**

اگر چه حسگرهای مختلفی برای آشکار نمودن آلودگی‌ها و مواد آلوده وجود دارند ولی فناوری نانو امکان ایجاد نسل‌های جدیدی از حسگرهای با توانایی بالا را فراهم می‌نماید که مواد آلاینده در مقادیر و غلظت‌های کم را آشکار می‌نمایند[۷].

**ه) نانوفیلتراسیون**

روش نانوفیلتراسیون طی چند سال گذشته رونق گرفته است. در نانو فیلتراسیون جدا سازی براساس اندازه مولکول صورت می‌گیرد و فرآیندی فشاری است. اساساً این روش جهت حذف اجزای آلی نظیر آلوده کننده‌های میکرونی و یونهای چند ظرفیتی می‌باشد. از دیگر کاربردهای نانو فیلتراسیون می‌توان به حذف مواد شیمیایی که به منظور کشتن موجودات مضر به آب اضافه شده اند، حذف فلزات سنگین، تصفیه آبهای مصرفی، رنگ زدایی و حذف آلوده کننده ها و حذف نیترات ها اشاره کرد.

نانو فیلتراسیون می‌تواند تقریباً از هر منبع آبی، آب پاک به وجود آورد و تمام باکتری‌های موجود در آب را حذف کند. در ضمن امکان استفاده آسان از روشهای تصفیه را برای عموم فراهم می کند و بدون عمل شیمیایی تصفیه را انجام می‌دهد[۲ و۷].

## ۵. نتیجه گیری

در آینده ایران جزء کشورهایی خواهد بود که بحران مصرف بالا و کم آبی را به دلیل افزایش جمعیت شهر نشین و ارتقای سطح صنعت و کشاورزی، پیش رو خواهد داشت. در دسترس بودن آب سالم و پاک یکی از مهمترین مسائل پیش روی بشر می‌باشد و به تدریج که مقدار مصرف آب بیشتر می‌شود مواد آلاینده نیز به طرق مختلف باعث آلوده کردن منابع آبی می‌گردند و این مسأله در آینده بحرانی تر خواهد شد. فناوری نانو طی مدت کوتاهی که از ظهور آن می گذرد کاربردهای مختلفی در صنایع گوناگون یافته است. در نتیجه صنعت آب، بعنوان یکی از پایه‌های حیات از این مسئله مستثنی نیست و در بخشهای مختلف آن، شامل ساخت سدها، حفاظت خطوط لوله انتقال آب، تصفیه آب و پساب، شیرین سازی آب و غیره، فناوری نانو کاربرد یافته است. در واقع فناوری نانو یک مهندسی نوین و تواناست که پتانسیل تسریع انتقال ما را از وضعیت موجود به صنایع پایدار آینده را دارد. در این مقاله برخی تحقیقات انجام شده در مورد کاربرد فناوری نانو در مهندسی آب ارائه گردید.

**مراجع**

[۱] رنجبر، م. و غ. شمس. ۱۳۸۸."بررسی کاربردهای فناوری نانو به تفکیک رشته های تحصیلی مهندسی کشاورزی"، مجله سبز زیست، سال دوم. شماره سوم. صفحات ۲۸ تا ۳۰.

[۲] بنی طبا، ح.، ج، صفری و ش. خلیلی. " فنآوری نانو و برخی کاربردهای آن در صنعت آب"، قابل دسترس دروب سایت مهندسان شیمی ایران.www.irche.com.

[۳] عابدی کوپایی، ج.، ۱۳۸۵. " کاربرد فناوری نانو در محیط زیست، اولین کنفرانس فناوری نانو در محیط زیست"۲: ۵۹۴-۶۰۹.

[۴] عابدی کوپایی، ج.، ع. بختیاری فر، ۱۳۸۳. تأثیر پساب تصفیه شده بر خصوصیات هیدرولیکی انواع قطره چکانها در سیستم آبیاری قطره ای، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۳ :۳۴-۴۳.

[۵] عابدی کوپایی. ج و ف. موسوی. ۱۳۸۲. جذب سرب از پساب صنعتی توسط خاکستر پوسته شلتوک، آب و فاضلاب ۴۸: ۲۳-۱۷.

[۶] عابدی کوپایی، ج. و مهری اصفهانی، ا. ۱۳۸۷. " بهبود کیفیت آب شور با استفاده از فیلتر شنی حاوی ذرات بقایای گیاهی"، دومین همایش آب و فاضلاب با رویکرد بهره برداری.۱۶ تا ۱۸ مهر. لوح فشرده.

[۷] ورشوساز، ژ. ، م، طباخیان، ف، حسن زاده، ا، اصلانی و ج، عابدی کوپایی. ۱۳۸۷. فناوری نانو و کاربردهای آن در علوم پزشکی. نشر چوگان. ۲۴۰ صفحه.