

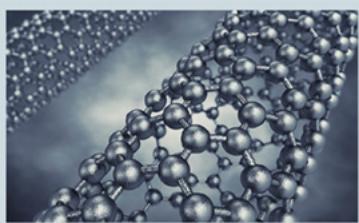
مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۷

# کاربرد فناوری نانو در بتن‌های سبک

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست





فناوری نانو، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با کنترل ابعاد در محدوده ۱۰۰–۱ نانومتر و استفاده از خواصی است که در این سطوح ظاهر می‌شود. در مقیاس نانومتری، نانوذرات، خواص شیمیابی و فیزیکی ویژه‌ای از خود نشان می‌دهند.

در چند سال گذشته استفاده از علم نانو بسیار فراگیر شده و به سرعت در حال پیشرفت و گسترش است.

همگام با توسعه فناوری نانو در صنایع مختلف، توجه به کاربردهای این علم، در صنعت بتن منجر به پیشرفت‌هایی در این زمینه نیز گردیده است.

۹  
۹

## بتن

بتن در مفهوم بسیار وسیع، به هر ماده یا محصولی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد، اطلاق می‌شود. بتن از نظر وزن مخصوص به سه دسته‌ی، بتن سنگین، بتن معمولی و بتن سبک تقسیم می‌شود.

بتن سنگین: وزن مخصوص این بتن حدود  $5/2$  تا  $5/1$  برابر وزن مخصوص بتن معمولی است و معمولاً از سنگدانه‌های سنگین در ساخت آن استفاده می‌شود.

بتن معمولی: این بتن دارای وزن مخصوصی بین ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است، که این تفاوت در وزن مخصوص، ناشی از جنس دانه‌ها و تراکم بتن است.

بتن سبک: یعنی است که وزن مخصوص آن نسبت به بتن معمولی خیلی کمتر می‌باشد و در ساخت آن از سیمان، آب، سنگدانه‌های سبک و مواد افزودنی استفاده شده است.

استفاده از بتن سبک و مصالح سبک وزن به روم باستان بر می‌گردد. رومیان در احداث معبد پانتئون<sup>۱</sup> و ورزشگاه کلوزیوم<sup>۲</sup> از پومیس<sup>۳</sup> که نوعی مصالح سبک است استفاده کردند. بتن سبک اغلب به عنوان جایگزینی مناسب و مکمل برای بتن معمولی و به منظور کاهش وزن سازه به کار می‌رود، هرچند مقاومت فشاری آن در مقایسه با بتن معمولی کمتر می‌باشد.



- اصول اولیه و روش پایه برای دستیابی به بتن سبک، ایجاد تخلخل در بتن است. بنابراین برای ایجاد تخلخل و سبکی در بتن از روش‌های زیر استفاده می‌شود:
- استفاده از سنگ‌دانه‌های متخلخل و سبک در بتن
  - ایجاد تخلخل در خمیر سیمان با آن
  - ایجاد تخلخل و فضای خالی در بتن از طریق حذف ریزدانه‌ها

هنگامی که از سنگ‌دانه‌های سبک در بتن استفاده می‌شود، چون سنگ‌دانه‌ها به طور ذاتی مقاوم نیستند، موجب کاهش استحکام و مقاومت بتن می‌شوند. بنابراین مهم ترین عیب بتن سبک مقاومت کم آن است. کم بودن مقاومت بتن سبک عامل مهمی در محدود نمودن دامنه کاربرد این نوع بتن و بهره‌گیری از امتیازات آن بوده است. یکی از کاربردهای فناوری نانو در صنعت بتن افزایش مقاومت و استحکام بتن سبک است. با کمک نانوذرات و با تغییر در واکنش‌های شیمیایی هیدراتاسیون‌های<sup>۴</sup> سیمان می‌توان بتن سبک با مقاومت بالا تولید کرد که کاربردی سازه‌ای داشته باشد. در ادامه به توضیح بیشتری در این خصوص پرداخته می‌شود.

### کاربردهای بتن سبک نانویی

بتن سبک نانویی به دلیل خواص فیزیکی منحصر به فرد به عنوان بتنی سبک با مقاومت لازم و کیفیت مطلوب، قابل استفاده در کاربردهای مختلفی می‌باشد.



■ **کف‌سازی طبقات:** کف‌سازی طبقات از مهم ترین و وسیع ترین کاربردهای بتن سبک است. با جایگزینی بتن سبک به جای پوکه معدنی حدود ۳۰ کیلوگرم سبک‌سازی در هر مترمربع صورت می‌گیرد. همچنین با استفاده از این بتن سه برابر عایق‌بندی حرارتی و صوتی بیشتر در کف طبقات صورت می‌پذیرد.

■ **پرکننده حفره‌ها:** بتن سبک به دلیل داشتن روان‌بایی بالا، در پر نمودن حفره‌ها و پایدارسازی آن‌ها در روی انواع لوله‌ها، تونل‌ها، مخازن و نفاطی که نیاز به پرکننده سبک به عنوان جایگزین خاک باشد، کاربرد دارد.

■ **دیوارهای یکپارچه:** با سیستم قالب‌بندی بتن سبک، می‌توان خانه‌ها و دیوارهای یکپارچه را با سرعت بالا و قیمت ارزان تولید نمود.

■ **شیب‌بندی پشت بام:** بتن سبک نانویی به دلیل مقاومت بالا و عدم نفوذ حرارت و رطوبت بهترین

روش برای شبیبندی و سبکسازی پشت بام می‌باشد.

### تأثیر استفاده از بتن سبک نانویی در ساختمان

اگر در سقف یک ساختمان از بتن سبک نانویی استفاده کنیم، در مقایسه با بتن معمولی، سقف در هر مترمربع حدود ۱۲۰ کیلوگرم سبکتر خواهد شد که در یک سازه هزار مترمربعی، استفاده از این نوع بتن حدود ۱۲۰ تن وزن سازه را سبکتر خواهد کرد. طبق یک قانون کلی هرچه وزن یک سازه بیشتر باشد آن سازه دربرابر زلزله آسیب پذیرتر خواهد بود. در نتیجه استفاده از نانویتن باعث سبکسازی بنا و مقاومت بیشتر آن دربرابر زلزله خواهد شد. همچنین، استفاده از نانویتن سبک در ساختمان از نظر اقتصادی مقرنون به صرفه است زیرا به علت کاهش جرم، بار مرده ساختمان (وزنی که خود سازه دارد)، بعد از ستون‌ها، تیرها و ضخامت سقف‌ها کاهش می‌باید، که این امر باعث صرفه‌جویی در مصرف مصالح ساختمانی مانند سیمان و فولاد می‌شود.

### مزیت استفاده از بتن سبک نانو در ساختمان‌سازی

استفاده از فناوری نانو در بتن باعث سبکسازی بنا، کاهش بار مرده ساختمان و مقاومت بیشتر آن دربرابر زلزله خواهد شد.



این امر در ساختمان از نظر اقتصادی مقرنون به صرفه است و باعث صرفه‌جویی در مصرف مصالح ساختمانی می‌شود.

بتن سبک به راحتی تولید شده و به دلیل روان‌بایی بالا احتیاجی به ویره ندارد و تنها پس از ۷ تا ۱۰ ساعت می‌توان قالب‌هارا باز نمود و عملیات برش را انجام داد. بتن سبک با قیمتی ۲۰ درصد کمتر از بتن معمولی، در کاهش هزینه نهایی ساختمان تاثیرگذار است.

بتن سبک نانویی عایقی مناسب در مقابل گرمای سرما و صدا است، که دلیل آن وجود تخلخل‌های بسیار ریز در این بتن است. میزان عایق‌سازی صوتی و حرارتی این بتن به گونه‌ای است که در اکثر موارد نیاز به استفاده از لایه‌های اضافی عایق‌بندی جزیی یا کلی نخواهد بود، و این امر از لحاظ اقتصادی مقرنون به صرفه است.

### بتن سبک حداقل ۱۰ برابر بتن معمولی عایق صوت و حرارت است

صرفه‌جویی در  
صرف انرژی

کاهش سرعت  
انتقال حرارت

مقاومت حرارتی  
بالای بتن سبک

نتیجه آزمایش‌ها نشان می‌دهد در شرایط کامل یکسان، دیواری با ضخامت یک‌دهم متر از بتن سبک با فناوری نانو معادل دیواری با ضخامت یک متر از بتن معمولی در برابر انتقال حرارت مقاومت خواهد داشت.

در بتن سبک بدليل وجود تخلخل، انرژی ذرات هوا که در اثر صوت به داخل تخلخل‌ها می‌رود و از آن خارج می‌شود، در اثر ایجاد اصطکاک مستهلك شده و به گرمای تبدیل می‌شود. میزان افت صدا در دیوار ساخته شده از بلوک سبک به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر برابر با ۴۸ دسی‌بل است.

### مزایای اقتصادی بتن سبک

- صرفه‌جویی ساخت در اسکله‌های فلزی، حداقل ۱۵٪
- صرفه‌جویی ساخت در اسکله‌های بتونی حداقل ۲۰٪

**جدول ۱. مقایسه وزن مخصوص، مقاومت کششی و مقاومت فشاری بتن معمولی و بتن سبک**

بررسی مشخصات فنی بتن	بتن معمولی	بتن سبک سازه‌ای رایج	بتن سبک سازه‌ای نانو
محدوده وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	۲/۴-۲/۵	۱/۸-۲	۱/۲۵-۱/۵
محدوده مقاومت کششی (Kg/cm <sup>2</sup> )	۷-۲۰	۵-۹	۸-۱۷
محدوده مقاومت فشاری (Kg/cm <sup>2</sup> )	۱۵۰-۶۰۰	۱۵۰-۲۵۰	۲۰۰-۵۰۰

### ایجاد مقاومت در بتن سبک با افزودن نانوذرات

به طور معمول، برای توصیف ویژگی‌های بتن، یکی از سه اجزای زیر بررسی می‌شود:

سنگ‌دانه‌ها

خمیر سیمان هیدراته

محدوده گذرین سطحی<sup>۵</sup>

(محدوده‌ای که در آن، خمیر سیمان، سنگ‌دانه‌ها را در بر می‌گیرد).

محدوده گذرین سطحی در نقش ضعیف‌ترین ناحیه اتصال در بتن عمل می‌کند و دارای سختی و مقاومت کمتری نسبت به خمیر سیمان هیدراته



است، بنابراین این ناحیه، عامل بسیاری از نارسایی‌های بتن بوده و نخستین میکروترک‌ها از این ناحیه بروز می‌کنند.

مهمترین جزء تشکیل دهنده بتن، اکسید کلسیم (آهک) است که حدود ۶۴۳ درصد سیمان را تشکیل می‌دهد. در اثر واکنش اکسید کلسیم با آب هیدروکسید کلسیم<sub>2</sub> Ca(OH)<sub>2</sub> تشکیل می‌شود، که به این فرایند هیدراتاسیون (آبگیری سیمان، ترکیب شیمیایی سیمان با آب) گفته می‌شود. پس از آغاز واکنش هیدراتاسیون ذرات سیلیس SiO<sub>2</sub>، یکی از اجزای تشکیل دهنده سیمان موجود در بتن با Ca(OH)<sub>2</sub> قابل اتحال وارد واکنش شده و سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) تولید می‌کند. ژل سیلیکات کلسیم هیدراته اصلی ترین محصول فرایند هیدراتاسیون است. این ژل متخلخل بوده، ساختاری لایه‌ای در مقیاس نانو دارد و مهم‌ترین عامل ایجاد مقاومت در بتن می‌باشد. نانوذرات بدلیل سطح مؤثر و واکنش پذیری بالا می‌توانند با کریستال‌های هیدروکسید کلسیم که در محدوده گذرین سطحی قرار دارند واکنش داده و باعث جلوگیری از توسعه کریستال‌های Ca(OH)<sub>2</sub> و در مقابل افزایش حجم ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) شوند، بنابراین این ذرات با انجام واکنش‌های شیمیایی هیدروکسید کلسیم آزاد شده موجود در بتن را مصرف می‌کنند و از خاصیت قلایی آن می‌کاهند. با کاهش مقدار بلورهای هیدروکسید انصال خمیر سنگدانه در بتن بهبود یافته و مقاومت بتن افزایش می‌یابد. همچنین نانوذرات بدلیل ابعاد ریز، راحت‌تر حفره‌ها و فضاهای خالی بتن سبک را پر می‌کنند و باعث چسبندگی بهتر خمیر سیمان و سنگدانه می‌شوند.

### ■ نانوذرات سیلیس

میکروسیلیس یکی از موادی است که در دهه‌های اخیر استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن نانوذرات سیلیس در بتن باعث افزایش مقاومت بیشتر نسبت به میکرو‌ذرات سیلیس می‌شود.

افزودن ۱۰ درصدی میکرو‌ذرات سیلیس به بتن سیک ← افزایش ۱۵ درصدی مقاومت فشاری بتن  
افزودن ۱۰ درصدی نانوذرات سیلیس به بتن سیک ← افزایش ۲۶ درصدی مقاومت فشاری بتن  
افزودن ۲۵/۰ درصدی نانوذرات سیلیس ← افزایش ۱۰ درصدی مقاومت فشاری و ۲۵ درصدی مقاومت خمشی

مهمترین دلیل افزایش مقاومت فشاری بتن به کمک نانوذرات سیلیس، نقش پرکنندگی این ذرات در بین منافذ خمیر سیمان است. ذرات نانوسیلیس به علت ریزدانگی بسیار بالا و چسبندگی سطحی، در بین ذرات ژل C-S-H قرار گرفته و فواصل خالی را پر می‌کنند. این امر موجب یکپارچگی ژل و افزایش دوام آن می‌شود.

با استفاده از نانوذرات سیلیس می‌توان میزان تراکم ذرات را در بتن افزایش داد که این به افزایش چگالی میکرو و نانوساختارهای تشکیل دهنده بتن و در نتیجه بهبود ویژگی‌های مکانیکی می‌انجامد. استفاده از نانوذرات سیلیس در سیمان علاوه بر نقش پرکنندگی منافذ، باعث استحکام ساختار بتن می‌شود.

و همچنین واکنش‌های پوزولانی<sup>۶</sup> (واکنش بین هیدروکسید کلسیم و دی‌اکسید سیلیسیم) را سریع‌تر و فعال‌تر می‌کند.

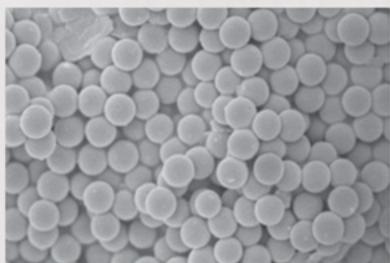
مزایای استفاده از نانوذرات سیلیس در بتن سبک

افزایش مقاومت خمثی

افزایش مقاومت فشاری

افزایش مقاومت در برابر مواد شیمیایی

کاهش نفوذپذیری آب درون بتن

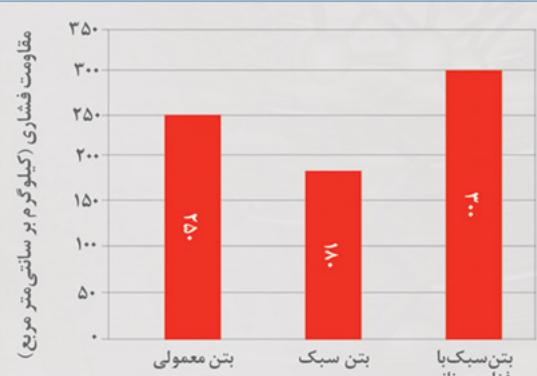


ب



الف

«شکل ۱. مقایسه مقاومت فشاری، (الف) بتن فاقد نانوذرات سیلیس، (ب) بتن حاوی نانوذرات سیلیس

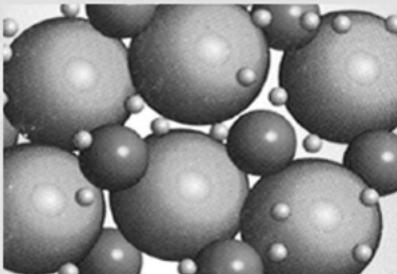


» نمودار ۱. بررسی مقاومت فشاری بتن، در بتن سبک با فناوری نانو از نانوذرات سیلیس استفاده شده است.

### نанوذرات دی‌اکسید‌تیتانیم

به دلیل واکنش‌پذیری بالای نانوذرات دی‌اکسید‌تیتانیوم ( $TiO_2$ )، نانوذرات با هیدروکسید کلسیم موجود در

سیمان به سرعت واکنش داده و ژل سیلیکات کلسیم هیدراته تشکیل می‌شود. همان‌طور که قبلاً بیان شد این ژل باعث کم شدن فضای خالی بتن و افزایش مقاومت بتن سبک می‌شود.



» شکل ۲. نحوه قرار گرفتن نانوذرات دی‌اکسید‌تیتانیم در خلول‌وفرج موجود در بتن

جدول ۲. بررسی مقاومت کششی بتن حاوی مقادیر مختلف نانوذرات دی‌اکسید‌تیتانیوم بعد از گذشت زمان‌های مختلف

مقاطومت کششی (Kg/cm <sup>2</sup> ) روزه ۹۰	مقاطومت کششی (Kg/cm <sup>2</sup> ) روزه ۲۸	مقاطومت کششی (Kg/cm <sup>2</sup> ) روزه ۷	افزودن مقادیر مختلف نانوذرات TiO <sub>2</sub> (%)
۳۹/۸	۳۵/۴	۲۷	-
۴۳/۲	۴۳	۳۱/۳	۰/۵
۴۵/۸	۴۵/۷	۳۲/۸	۱
۴۸/۶	۴۸/۱	۳۵/۹	۱/۵
۵۰/۳	۴۹/۹	۳۸/۱	۲

### آینده فناوری‌نانو در صنعت بتن

در مقایسه با کشورهای پیشرفته، بیشتر پژوهه‌های ساخت‌وساز در کشور ما بصورت سنتی انجام می‌شود و در حال حاضر تنها تعدادی از شرکت‌های ساختمانی از فناوری‌های روز و شیوه‌های نوین در پژوهه‌های خود استفاده می‌کنند. بنابراین با استفاده از کاربردهای فناوری نانو و توسعه آن در صنعت ساخت‌وساز کشور، از جمله صنعت بتن، می‌توان شاهد پیشرفت‌هایی در این زمینه باشیم.

شرکت مهندسی طرح وندیداد

تولید نانویتن فوق سبک سازهای

اطلاعات تماس: www.vandidad-co.com , ۴۴۲۸۲۳۰-۸-۸۸۲۸۰۵۰۷

شرکت کیلوپیکو (Kilopico)

تولیدکننده بتن سبک با استفاده از نانوذرات

اطلاعات تماس: www.kilo-pico.com , ۲۶۱۱۹۱۵

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: www.nanosun.ir - ۶۶۸۷۱۲۵۹



پژوهش‌ها

1 Pantheon

4 hydration

2 Colosseum

5 Interfacial transition zone

3 Pumice

6 Pozzolan

مراجع

1 www.nano.ir

2 www.cementtechnology.ir

3 F. soleimani, effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on increasing split tensile strength of lightweight concrete, Journal of American Science, 2012.

4 S. H. Hashemi, I. MirzaeiMoghadam, Influence of Nano-silica and Polypropylene Fibers on Bond Strength of Reinforcement and Structural Lightweight Concrete, IJE TRANSACTIONS B: Applications Vol. 27, No. 2, (February 2014) 261-268.

## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- تصفیه آب با استفاده از غشاء پلیمری نانوفیلتراسیون
- نانوحسگرها جهت آزمایش‌های بیوشیمیایی متداول خون (تعیین میزان قند، چربی و...)
- نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های خودتغییرشونده
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های ضدخش
- فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌باکتریال
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های صوتی
- افزایش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی با استفاده از نانوکودهای بیولوژیک
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چوب
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه هوا
- نماهای کامپوزیتی نانویی
- کاربرد پوشش‌های نانو در لوله‌های آب گرم
- ظرف آشیز خانه با پوشش نانویی
- تکمیل ضدآتش و دیرسوزی منسوجات
- نانوذرات لیپیدی، سامانه‌ای جدید برای داروگرانی
- نانومیسل‌ها و نقش آنها در رهایش دارو
- نانوبولوپرای فرمولاسیون جدید داروهای کم محلول
- نقش فناوری نانو در توسعه پیچه‌های پوستی
- کاربردهای فناوری نانو در سیمان حفاری
- کاربردهای فناوری نانو در گل حفاری
- کاربردهای فناوری نانو در صنعت نساجی
- بهره‌گیری از جاذبهای نانو بر پایه آتزروژل‌هادر حذف آلاینده‌های نفتی و تصفیه پساب‌های صنعتی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی استاتیک
- داروهای متصل شده به پادتن

شناسنامه

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

تلفن:	توسعه فناوری مهرویزن	طراحی و اجرا:
نامبر:	داده قرایلو	ناظر:
پایگاه اینترنتی:	report@nano.ir	
صندوق پستی:	تهریه‌کننده: شرکت توسعه نانوفناوری افسخار civil@nano.ir	