نشانی فرستنده :

بسمه تعالی

دانشگاه یزد

# گواهی پذیرش مقاله

بدین وسیله گواهی می گردد مقاله با مشخصات زیر

عنوان مقاله: بررسی اثر میکرو سیلیس بر نفوذپذیری بتن با سنگدانه‌های بازیافتی

نویسندگان: مجتبی عسکری قوچانی، نذا بتیسی، منصور قلعه نوی، مسعود عطاریان

در ششمین کنترانس ملی و دومین کنترانس بین المللی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران پذیرش و در مجموعه مقالات منتشر گردیده است. ضمنا این کنترانس که در تاریخ ۱۹ الی ۲۰ مهرماه ۱۳۹۶ در دانشکده مهندسی عمران دانشگاه یزد برگزار گردید، دارای مجوز شماره ۱۳۶۱۴۷/۱۶ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری جمهوری اسلامی ایران و کد اختصاصی ۹۲۳۰۲-۹۶۱۷۰ پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) می باشد. موفقیت روزافزون شما در عرصه های آموزش و پژوهش را از درگاه احدیت مسئلت داریم.

دکتر بهروز احمدی ندوشن
دبیر علمی کنترانس

دکتر رضا مرشد
دبیر کنترانس

ششمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی
مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران
دانشگاه یزد، ۱۹ و ۲۰ مهرماه ۹۶

# بررسی اثر میکروسیلیس بر نفوذپذیری بتن با سنگدانه‌های بازیافتی

**مجتبی عسکری قوچانی[۱*]، ندا بقیعی[۲]، منصور قلعه نوی[۳] ، مسعود عطاریان[۴]**

۱- کارشناسی ارشد سازه، گروه عمران، دانشگاه صنعتی قوچان، mojtaba_civil۲۵@yahoo.com
۲- استادیار، گروه عمران، دانشگاه صنعتی قوچان، n.baghiee@qiet.ac.ir
۳- دانشیار، گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ghalehnovi@um.ac.ir
۴- کارشناس ارشد ژئوتکنیک، مدیر آزمایشگاه تخصصی دوام سازه‌های بتنی شرکت ژیکاوا، attarian.masood@gmail.com

## چکیده:

سازه‌های بتنی همواره در معرض خرابی عامل‌های شیمیایی و مکانیکی در هنگام بهره‌برداری هستند. نفوذ آب، کلر و مواد شیمیایی ساختار بتن را تخریب و از عمر مفید سازه می‌کاهد. از سوی دیگر تخریب سازه‌های بتنی که از بهره‌برداری خارج شده‌اند، حجم انبوهی از آوارهای ساختمانی را به جا می‌گذارد و به محیط زیست آسیب می‌رساند. با توجه به اهمیت مسأله دوام و توسعه پایدار در این مقاله نفوذپذیری بتن بازیافتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بتن بازیافتی به جای سنگدانه‌های طبیعی از بتن تخریبی استفاده شده است. به دلیل تخلخل بیشتر سنگدانه‌های بازیافتی نسبت به سنگدانه‌های طبیعی، نفوذپذیری بتن بازیافتی بیشتر می‌باشد. از این رو، نفوذپذیری آب نمونه‌های بتنی با آزمایش‌های استاندارد جذب آب کل، جذب آب مویینه و عمق نفوذ آب تحت فشار بررسی می‌شود.نمونه های با ۵ طرح اختلاط گوناگون بر اساس روش ملی طرح مخلوط بتن ساخته شدند که شامل ۵۰ درصد سنگدانه بازیافتی به عنوان ریزدانه و درشت‌دانه به‌جای سنگدانه طبیعی، میکروسیلیس با دو نسبت ۷/۵ و ۱۵ درصد سیمان، مواد کریستال ساز با نسبت یک درصد و فوق روان کننده می‌باشند. مقدار سیمان با عیار ۳۵۰ و نسبت آب به سیمان با نسبت ۰/۴۵ در همگی طرح‌ها ثابت است. یافته‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند چنانچه در طرح اختلاط بتن بازیافتی از افزودنی میکروسیلیس استفاده شود، مقاومت فشاری بیشتر، جذب آب موئینه کمتری در مقایسه با بتن معمولی به‌دست می‌آید. ولی، استفاده از افزودنی‌های میکروسیلیس در نمونه‌های بازیافتی تاثیری بر جذب آب کل ندارد و نیز میکروسیلیس، سبب کاهش مقدار عمق نفوذ آب نسبت به نمونه بتن بازیافتی بدون میکروسیلیس می‌شود. در پایان نتیجه‌های آزمایش‌ها با آیین‌نامه پایایی بتن مقایسه شدند.

**واژه‌های کلیدی:** بتن بازیافتی، دوام، نفوذپذیری، توسعه پایدار.

## ۱- مقدمه

توسعه‌ی روزافزون شهرها و روند روبه رشد جمعیت، نیاز بشر به منابع طبیعی را با توجه به محدود بودن و غیرقابل بازگشت بودن آنها دوچندان کرده است. نیاز به حفظ منابع طبیعی و معدنی و نگهداری از آن‌ها برای نسل‌های آینده لازم و ضروری بوده و از اصلی‌ترین اصول توسعه پایدار می‌باشد. در توسعه پایدار شهری از منابع طبیعی به گونه‌ای استفاده می‌کنند تا کمترین آسیب را به طبیعت وارد کند. دراین راستا باید توجه ویژه‌ای به مدیریت پایدار آوارهای ساختمانی شود. امروزه نگاه زیست محیطی به بتن به دلیل حجم مصرف قابل توجه آن در دنیا رو به افزایش است. زیرا، مصرف رو به رشد مصالح سنگی برای تولید بتن باعث کاهش منابع طبیعی در دسترس خواهد شد و از سوی دیگر تولید حجم زیاد نخاله‌های حاصل از تخریب ساختمان‌های بتنی و بنّایی و مسأله‌ی دفن آنها به آلوده شدن محیط زیست می‌انجامد [۱]. در ایران نیز، تهران بزرگترین تولید کننده زباله می‌باشد و شهرهای مشهد و اصفهان به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. حجم بالای تولید خاک و نخاله‌ی ساختمانی در شهرهای بزرگ ایران ناشی از حجم بالای تخریب و تجدید بناها در این شهرها می‌باشد. از نگاه دیگر، یکی از مصالح پر مصرف در ترکیب بتن، سیمان است که در همه مرحله‌های ساخت، با انتشار گاز دی اکسید کربن به سلامت محیط زیست ضربه می‌زند. یکی از راه‌های جلوگیری از چنین آسیب‌های زیست محیطی، استفاده از مواد پوزلانی مانند متاکائولین، خاکستر بادی و دوده سیلیسی است که جایگزین بخشی از سیمان مصرفی می‌شوند [۱]. علاوه بر جنبه زیست محیطی، استفاده از پوزولان ویژگی‌های مکانیکی و دوام بتن را بهبود می‌دهد. امروزه در طراحی سازه‌های بتنی افزون بر عامل‌های مکانیکی مانند مقاومت فشاری، دوام بتن را نیز به عنوان شاخصی از عملکرد سازه‌ها در نظر می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین عامل‌های اثر گذار در دوام سازه‌های بتنی، نفوذپذیری می‌باشد.

بتن به عنوان ماده‌ای متخلخل، دارای ساختار نفوذپذیر است که اجازه نفوذ آب، عامل‌های شیمیایی و هوا را در بتن می‌دهد. عامل‌های شیمیایی مانند سولفات‌ها، اسیدها، آب دریا، کلریدها و... به داخل بتن نفوذ کرده و با اجزای تشکیل دهنده‌ی بتن از جمله فولاد یا آب منفذی واکنش انجام می‌دهند. با این واکنش‌ها ماهیت بتن تغییر می‌کند و سازه بتنی آسیب می‌بینند. این آسیب‌ها ممکن است به خرابی کل سازه بیانجامد [۲]. بنابراین، نفوذناپذیری برای افزایش دوام سازه‌های بتنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به ضعف بتن بازیافتی در مقابل نفوذپذیری به دلیل خلل و فرج بیشتر نسبت به بتن معمولی، در این مقاله نفوذپذیری بتن بازیافتی در مقابل آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی این پژوهش سه مرحله شناخت ویژگی‌های مصالح مصرفی، طرح اختلاط و ساخت نمونه‌ها و آزمایش‌ها را شامل می‌شود. برای شناخت بیشتر و آگاهی از ویژگی‌های سنگدانه‌های طبیعی و بازیافتی آزمایش‌های استاندارد چگالی، دانه‌بندی و درصد جذب آب انجام گرفت. سپس با تحلیل نتیجه‌های دانه‌بندی و ویژگی مصالح کاربردی، چندین طرح اختلاط برای دستیابی به طرح شاهد پیشنهاد شد. پس از مشخص شدن طرح نهایی اختلاط، برای بررسی رفتار بتن بازیافتی، مصالح ریزدانه و درشت‌دانه بازیافتی با نسبت ۵۰ درصد جایگزین سنگدانه‌های طبیعی شدند. سپس در طرح پیشنهادی برای بهبود رفتار بتن بازیافتی میکروسیلیس با نسبت ۷/۵ و ۱۵درصد و مواد کریستال ساز با نسبت ۱ درصد جایگزین سیمان شد. در مجموع ۵ طرح اختلاط به دست آمد که شامل ۱ طرح اختلاط بتن شاهد و ۴ طرح اختلاط بتن بازیافتی می‌باشد. هدف از این طرح‌ها ساخت ۵۰ نمونه بتنی شامل ۴۰ نمونه مکعبی و ۱۰ نمونه استوانه‌ای برای آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب، جذب آب مویینگی، نفوذ آب تحت فشار بود که در جدول ۱ درج شده‌اند. در جدول ۱، آزمایش‌های بتن سخت شده،

استانداردها، سن آزمایش نمونه‌ها و تعداد نمونه‌های ساخته شده ارائه شده است. افزون بر این آزمایش‌ها، کارپذیری بتن بازیافتی تازه با آزمایش اسلامپ و تراکم و روند تغییر چگالی با آزمایش وزن مخصوص بتن تازه مورد بررسی قرار گرفت.

**جدول (۱) برنامه آزمایشگاهی برای هر طرح اختلاط**

| آزمایش | استاندارد | ابعاد | | | شکل | تعداد نمونه‌ها | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع | عرض | طول | | ۷ روزه | ۲۸ |
| مقاومت فشاری | ISIRI ۳۲۰۶ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | مکعبی | ۲ | ۳ |
| جذب آب کل | ASTM C ٦٤٢ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | مکعبی | - | ۱ |
| جذب آب مویینگی | ASTM C۱۵۸۵- ISIRI | ۲۰ | - | ۱۰ | استوانه‌ای | - | ۱ |
| نفوذ آب تحت فشار آب | EN ۱۲۳۹۰-۸ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | مکعبی | - | ۲ |

## ۳- مواد و مصالح مصرفی

در مقاله حاضر در تمامی طرح‌ها ز سیمان پرتلند ضدصولفات متوسط ( تیپ ۲ ) برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. این سیمان از محصول‌های مجتمع کارخانه سیمان شرق واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شهر مشهد واقع در استان خراسان می‌باشد. میکروسیلیس مصرفی در نمونه‌های بتنی از محصول‌های شرکت ژیکاوا، تولید کننده افزودنی‌های بتنی و با نام تجاری میکروسیلیکا می‌باشد، که با استاندارد ASTM C۱۲۴ مطابقت دارد. این ماده به صورت پودری خاکستری رنگ و با وزن مخصوص کم در بسته‌بندی‌های ۱۵ کیلوگرمی در دسترس قرار دارد. مواد کریستال ساز یک ماده آب‌بند کننده و محافظ بتن می‌باشد که پس از اختلاط با آب و اجرا در بتن با آهک آزاد موجود در بتن ترکیب شده و ترکیبات کریستالی رشد یابنده سوزنی شکل و غیر محلول در آب تشکیل می‌دهد.. این ترکیب‌های کریستالی با نفوذ به داخل حفره‌های بتن باعث بسته شدن کامل آن‌ها و آب‌بندی بتن می‌شود. **ویژگی‌های فنی مواد کریستال ساز** مطابق جدول(۲) می‌باشد.

**جدول (۲) ویژگی‌های فنی مواد کریستال ساز**

| | |
|---|---|
| حالت فیزیکی | پودر |
| رنگ | خاکستری روشن |
| وزن مخصوص | ۱/۲ $gr/cm^3$ |

فوق روان کننده مورد استفاده در این پژوهش از نوع فوق روان کننده ممتاز ژیکاپلاست با نام اختصاری ZP و از محصولات شرکت ژیکاوا می‌باشد. این ماده بر پایه پلی کربوکسیلات‌های بهبودیافته، با ویژگی روان کنندگی بسیار بالا به عنوان کاهنده قوی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد فوق‌روان‌کننده ZP با استانداردهای ISIRI ۲۹۳۰ و ASTM C۴۹۴ هماهنگی دارد

## ۴- سنگدانه‌ها

سنگ‌دانه مورد استفاده در این پژوهش از دو نوع بازیافتی و طبیعی می‌باشد. مصالح سنگی طبیعی مورد استفاده برای ساخت نمونه‌های بتنی در این آزمایش‌ها از محدوده جاده کلات، توسط واحد شن شویی شرکت فرآورده‌های سیمان شرق در دو رده ماسه و نخودی تهیه شده‌اند. بزرگ‌ترین قطر مصالح نخودی ۱۲/۵ میلیمتر می‌باشد.. سنگدانه بازیافتی برای ساخت نمونه‌های

بتن بازیافتی در نمونه‌های آزمایشگاهی حاصل از خرد کردن نمونه‌های بتنی می‌باشد. این سنگدانه‌های بازیافتی از نمونه‌های بتنی با رده مقاومتی C ۴۰ که با آزمایش مقاوت فشاری در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی استان خراسان شکسته شده بودند، به دست آمدند. این نمونه‌ها نخست با دستگاه کمپرسور به روش دستی خرد شدند. سپس با استفاده از دستگاه سنگ شکن مصالح ریزدانه و درشت‌دانه بازیافتی به دست آمدند. آزمایش‌های انجام شده بر روی سنگدانه‌ها و نتایج آن، مطابق جدول (۳)، (۴)، (۵) می‌باشد. همچنین منحنی دانه‌بندی ریزدانه و درشت دانه در شکل(۱) و شکل(۲) آمده است.

**جدول(۳) آزمایش‌ها بر روی سنگدانه‌ها**

| آزمایش‌ها | استاندارد |
|---|---|
| دانه بندی مصالح سنگی با الک | ASTM C۱۲۷ – ASTM C۱۲۸ |
| تحلیل دانه بندی و ضریب نرمی | ASTM C۱۳۶-۰۶ |
| تعیین وزن مخصوص و فضای خالی | ASTM C۲۹ |
| رطوبت | ASTM C۵۶۶-۸۹ |
| چگالی و جذب آب درشت دانه | ASTM C۱۲۷-۸۸ |
| چگالی و جذب آب ریز دانه | ASTM C۱۲۸-۸۸ |

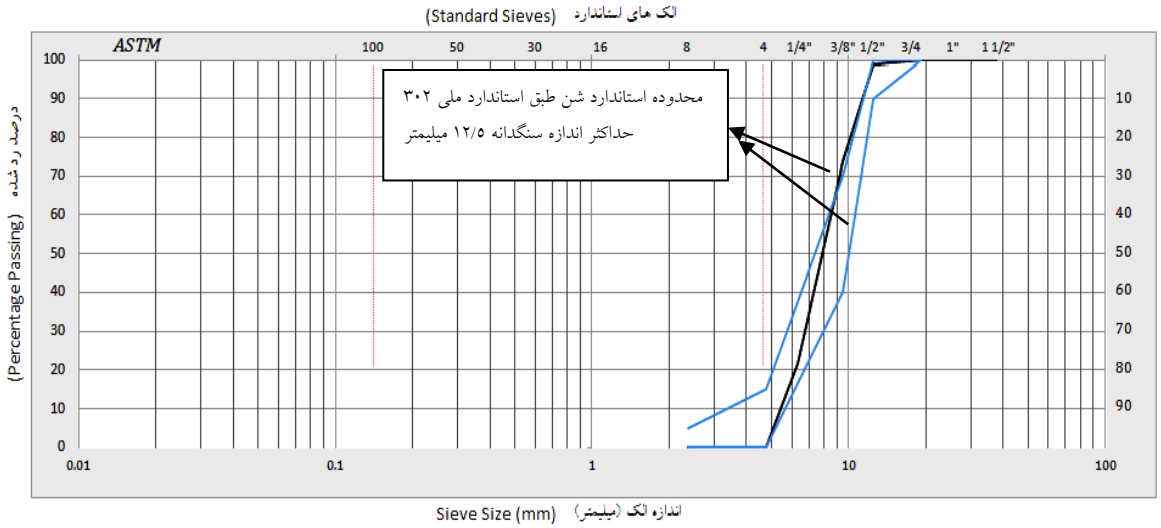
**جدول (۴) نتیجه‌های آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح ریزدانه طبیعی و بازیافتی**

| آزمایش‌ها | نتیجه‌ها(طبیعی) | نتیجه‌ها(بازیافتی) |
|---|---|---|
| وزن واحد حجم تراکم با دستگاه لرزاننده | ۱/۷۹ t/m$^3$ | ۱/۵۲t/m$^3$ |
| وزن مخصوص ریزدانه اشباع با سطح ظاهری خشک(SSD) | ۲/۵۴ t/m$^3$ | ۲/۳۳ t/m$^3$ |
| درصد جذب آب | ٪۵/۶۳ | ٪۱۱/۹۶ |
| ارزش ماسه(Se) | ٪۸۴ | ٪۸۴ |

**شکل (۱) منحنی دانه‌بندی ریزدانه طبیعی و بازیافتی**

**جدول (۵) نتیجه‌های آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح درشت‌دانه طبیعی**

| آزمایش | نتیجه(طبیعی) | نتیجه(بازیافتی) |
|---|---|---|
| وزن مخصوص اشباع با سطح خشک(SSD) | ۲/۷۱ | ۲/۵۲ |
| وزن واحد حجم درشت‌دانه خشک میل خورده | ۱/۶۵ | ۱/۴۰ |
| درصد جذب آب | ۰/۶۸ | ۴/۵۳ |




**شکل (۲) منحنی دانه‌بندی درشت‌دانه طبیعی و بازیافتی با اندازه mm ۱۲/۵-۴/۷۵.**

## ۶- طرح اختلاط نهایی و ساخت نمونه‌ها

در این مقاله، طرح اختلاط مطابق طرح ملی مخلوط بتن انجام گرفت و در جدول (۶) آمده است.

**جدول (۶) طرح اختلاط نهایی و مورد استفاده در آزمایشگاه**

| ردیف | نام طرح | ریزدانه طبیعی (kg) | درشت‌دانه طبیعی(kg) | ریزدانه بازیافتی (kg) | درشت‌دانه بازیافتی (kg) | میکروسیلیس(kg) | مواد کریستال ساز(kg) | سیمان(kg) | آب(kg) | فوق روان کننده(kg) | نسبت آب به سیمان (w/c) | وزن مخصوص بتن تازه (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | NC | ۱۰۲۷ | ۷۶۲ | – | – | – | – | ۳۵۰ | ۲۱۶ | ۱/۷۵۰ | ۰/۴۵ | ۲۳۵۲ |
| ۲ | RC | ۵۱۴ | ۳۸۱ | ۴۴۳ | ۳۴۲ | – | – | ۳۵۰ | ۲۵۵ | ۱/۷۵۰ | ۰/۴۵ | ۲۲۵۸ |
| ۳ | RCL | ۴۹۵ | ۳۶۷ | ۴۲۷ | ۳۳۰ | ۲۸/۵ | – | ۳۲۱/۵ | ۲۶۴ | ۱/۸۹۲ | ۰/۴۵ | ۲۲۶۹ |
| ٤ | RCH | ۴۷۳ | ۳۵۱ | ۴۰۸ | ۳۱۵ | ۶۲ | – | ۲۸۸ | ۲۷۵ | ۲/۰۵۹ | ۰/۴۵ | ۲۲۵۲ |
| ۵ | RCJ | ۵۱۴ | ۳۸۱ | ۴۴۳ | ۳۴۲ | – | ۳/۵ | ۳۵۰ | ۲۵۵ | ۱/۷۵۰ | ۰/۴۵ | ۲۲۱۴ |

**جدول (۷) نام‌گذاری و ویژگی‌های نمونه‌ها**

| ردیف | نام نمونه | تعداد | شرح نمونه |
|---|---|---|---|
| ۱ | NC | ۱۰ | بتن نرمال(شاهد) |
| ۲ | RC | ۱۰ | دارای ۵۰ درصد درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی |
| ۳ | RCL | ۱۰ | دارای ۵۰ درصد درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی- دارای ۷/۵ درصد میکروسیلیس |
| ۴ | RCH | ۱۰ | دارای ۵۰ درصد درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی- دارای ۱۵ درصد میکروسیلیس |
| ۵ | RCJ | ۱۰ | دارای ۵۰ درصد درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی- دارای ۱ درصد مواد کریستال ساز |

## ۴- آزمایش‌های انجام شده و نتیجه‌ها

آزمایش‌های انجام شده شامل دو بخش بتن تازه و بتن سخت شده می‌باشد. آزمایش روانی مطابق استاندارد ملی ایران ۳۲۰۳ و ASTM C۱۴۳ و ازمایش وزن مخصوص ASTM C ۱۳۸انجام می‌شود.

### ۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد ۳۲۰۶ ملی ایران [۳]

**جدول (۸) نتیجه‌های مقاومت فشاری**

| نام نمونه | مقاومت فشاری (MPa) | | درصد تغییرات مقاومت | |
|---|---|---|---|---|
| | ۷ روزه | ۲۸ روزه | ۷ روزه | ۲۸ روزه |
| NC | ۲۹ | ۳۳/۶ | - | - |
| RC | ۲۴/۹ | ۳۰/۶ | -۱۴ | -۹ |
| RCL | ۲۴/۷ | ۳۴/۸ | -۱۵ | +۴ |
| RCH | ۲۴/۹ | ۳۶/۲ | ۰ | +۸ |
| RCJ | ۲۲/۲ | ۲۸/۲ | -۲۳ | -۱۶ |

### ۴-۲- آزمایش جذب آب نهایی

آزمایش جذب آب نهایی بنا به استاندارد ASTM C۶۴۲ انجام شد[۱] . این آزمایش در سه گام خشک کردن، اشباع و جوشاندن انجام می‌شود. ابتدا جرم خشک آزمونه با قرار دادن آن در کوره با دمای ۱۰۰ تا ۱۱۰ سانتیگراد برای حداقل ۲۴ ساعت، تعیین می‌شود. پس از خارج کردن هر آزمونه از کوره، در یک مخزن خشک که عبور هوا به داخل آن ممکن نیست، تا رسیدن به دمای ۲۰ تا ۲۵ سانتیگراد خنک و سپس جرم آن تعیین می‌شود. آزمونه در آون برای دومین بار و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده و سپس جرم آن تعیین می‌گردد. اگر مقدار سوم با مقدار دوم برابر نبود، دوباره آزمونه برای مدت ۲۴ ساعت دیگر خشک می‌شود و این فرایند آنقدر ادامه می‌یابد تا تفاوت ۲ مقدار متوالی جرم از ۰/۵ درصد مقدار کوچکتر به دست آمده، کمتر باشد. در گام دوم، جرم اشباع آزمونه بعد از استغراق در آب در دمای تقریبی ۲۱ سانتیگراد برای مدت حداقل ۴۸ ساعت به دست می‌آید. این مدت استغراق ممکن است دوباره افزایش یابد تا هنگامی که تفاوت دو قرائت متوالی جرم آزمونه اشباع با سطح خشک، در وقفه‌های ۲۴ ساعته نشان دهد که افزایش جرم کمتر از ۰/۵ درصد مقدار بیشتر جرم است. جرم اشباع با سطح خشک آزمونه پس از پاک کردن رطوبت سطحی با حوله، تعیین می‌شود. در این مرحله باید اجازه

داد تا به طور طبیعی تبادل حرارتی حداقل ۱۴ ساعت برای رسیدن به دمای ۲۰ تا ۲۵ سانتیگراد انجام گیرد. با داشتن جرم اشباع و جرم خشک آزمونه، می‌توان درصد جذب آب کل بتن را محاسبه کرد. نتیجه‌های آزمایش جذ آب بر روی نمونه‌ها در جدول(۹) آمده است.

**شکل (۳) ظرف قرارگیری نمونه‌ها در آزمایش جذب آب**

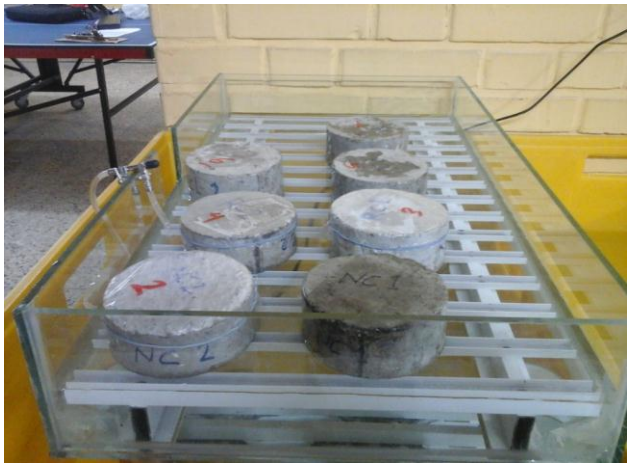
**جدول(۹) نتیجه‌های آزمایش جذب آب بر روی نمونه‌ها**

| ردیف | نام نمونه | جذب آب(٪) |
|---|---|---|
| ۱ | NC | ۶,۶۲ |
| ۲ | RC | ۹,۱۷ |
| ۳ | RCL | ۹,۴۷ |
| ۴ | RCH | ۱۰,۱۳ |
| ۵ | RCJ | ۸,۷۷ |

### ۴-۳- آزمایش جذب آب موئینه بتن

در این پژوهش آزمایش جذب آب موئینه مطابق با استاندارد ASTM C ۱۵۸۵ انجام شد[۲] . در این آزمایش از یک قرص بتنی به قطر ۱۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۵۰ میلیمتر استفاده شد. . آزمونه‌ها به مدت ۳ روز در محفظه‌ای با دمای (۲±۵۰) درجه سلسیوس و رطوبت نسبی (۳±۸۰) درصد قرار گرفتند و سپس درون محفظه آب‌بند به مدت ۱۵ روز قرار گرفتند. سپس، آزمونه‌ها از ظرف خارج و سطوح جانبی آنها با مواد آب بندی مناسب پوشانده و انتهای دیگر آزمونه‌ها که نباید در معرض آب باشد، با استفاده از ورقه‌های پلاستیکی پوشش داده شد.

آزمونه‌ها درون تشتک آب به صورتی که، آب بخش زیرین آزمونه‌ها را به میزان ۱ تا ۳ میلیمتر در بر بگیرد، قرار گرفتند (شکل۴). رطوبت محیط اطراف نمونه نیز وارسی شد.




**شکل (۴) تشتک قرار گیری نمونه‌ها آزمایش جذب آب موئینه**

در پایان، آهنگ جذب آب مویینه در بازه‌های زمانی گوناگون به دست آمد و در جدول(۱۰) آمده است.

**جدول (۱۰) آهنگ جذب آب در آزمایش موئینگی**

| ردیف | نام نمونه | آهنگ جذب اولیه($mm/s^{0.5}$) | آهنگ جذب ثانویه($mm/s^{0.5}$) |
|---|---|---|---|
| ۱ | NC | ۱۳ | ۷/۵ |
| ۲ | RC | ۱۶/۵ | ۱۰ |
| ۳ | $RC_L$ | ۸ | ۱/۵ |
| ۴ | $RC_H$ | ۵ | ۰/۵ |
| ۵ | $RC_J$ | ۱۱ | ۳/۵ |

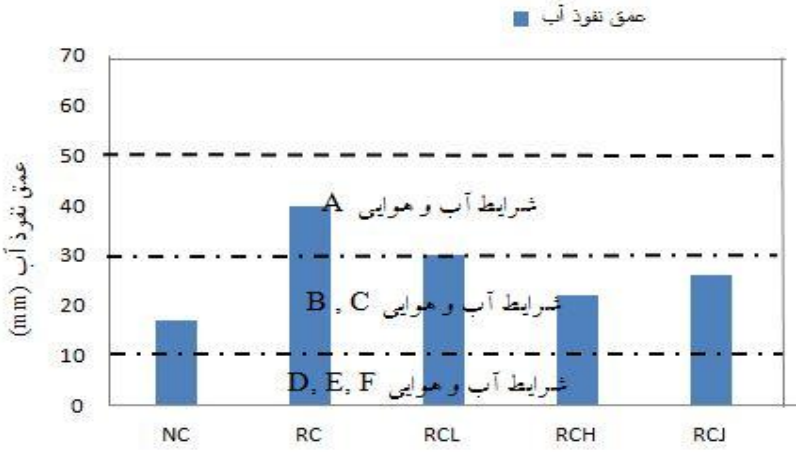
### ۴-۴- عمق نفوذ آب تحت فشار

آزمایش عمق نفوذ آب زیر فشار آب مطابق با استاندارد EN ۱۲۳۹۰-۸ انجام می‌شود[۳]. در این روش پس از قالب‌برداری، سطحی از آزمونه که در برابر فشار آب قرار می‌گیرد، با یک برس سیمی، زبر شود. فشار آب روی سطح ماله‌کشی شده آزمونه، به کار برده نمی‌شود. آزمونه درون دستگاه نفوذپذیری قرار داده شده و فشار آب (۵۰۰±۵۰ kpa) برای مدت ۷۲±۲ ساعت روی آن اعمال می‌شود. پس از اینکه فشار در مدت مشخص شده به‌کار گرفته شد، آزمونه را از دستگاه خارج می‌کنند. سطحی از آزمونه که در برابر فشار آب بود، خشک شده تا آب اضافی آن بیرون برود. آزمونه عمود بر سطح زیر فشار آب به دو نیم می‌شود. سطح دو نیم شده آزمونه بایستی به اندازه‌ای خشک باشد تا پیشروی آب را بتوان به روشنی مشاهده کرد. در این هنگام، پیشروی آب در آزمونه علامت گذاری می‌شود. بیشترین عمق نفوذ آب را در شرایط آزمایش به عنوان عمق نفوذ آب ثبت می‌کنند. طبق روش بیان شده، پس از قرار گیری نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت زیر دستگاه نفوذ آب، نمونه‌ها با کمک

دستگاه جک، مطابق شکل(۵) به دو نیم تقسیم و عمق نفوذ آب در نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود (شکل۶) و در پایان نتیجه‌های آزمایش با آیین‌نامه پایایی بتن مقایسه شدند.

**شکل (۵) شکست نمونه**

**شکل (۶) پروفیل عمق نفوذ آب (RC)**




**شکل (۷)عمق نفوذ آب در آزمایش، عمق نفوذ آب زیر فشار آب**

## ۵- نتیجه‌های پژوهش

- بتن خرد شده چگالی کمتر و تخلخل بیشتر و در نتیجه جذب آب بیشتری نسبت به سنگدانه طبیعی دارد. درشت‌دانه بازیافتی ۶/۷ برابر درشت‌دانه طبیعی و ریزدانه بازیافتی ۲/۱۲ برابر ماسه طبیعی جذب آب دارد.
- جذب آب نمونه بازیافتی نسبت به بتن معمولی به میزان ۳۹ درصد بیشتر می‌باشد. استفاده از افزودنی‌های میکروسیلیس و مواد کریستال ساز تاثیری بر کاهش جذب آب نمونه‌های بازیافتی ندارد.
- در سن ۲۸ روزه مقاومت فشاری میانگین نمونه‌های بتن بازیافتی ساخته شده از خرده بتن نسبت به بتن معمولی کاهشی به میزان ۹ درصد مشاهده می‌شود. استفاده میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن بازیافتی می‌شود. به طوری که استفاده از ۱۵ درصد میکروسیلیس در بتن بازیافتی منجر به افزایش مقاومت ۱۱ درصدی نسبت به بتن معمولی می‌شود.

- آهنگ جذب آب اولیه و ثانویه نمونه بتن بازیافتی نسبت به نمونه بتن شاهد بیشتر می‌باشد. استفاده از میکروسیلیس تاثیر بسیار خوبی بر روی آهنگ جذب بتن بازیافتی دارد، به گونه‌ای که آهنگ جذب (اولیه) نمونه بتن بازیافتی شامل ۱۵ درصد میکروسیلیس نسبت به نمونه شاهد ۲/۶ برابر کاهش مشاهده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مواد کریستال ساز تاثیر کمتری نسبت به میکروسیلیس بر روی آهنگ جذب آب دارد که البته این نتیجه نیاز به بررسی دارد.
- میزان عمق نفوذ آب در همه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد بیشتر می‌باشد. نمونه بازیافتی در میان همه نمونه‌ها، بیشترین عمق نفوذ را دارد. عمق نفوذ آب در نمونه بازیافتی نسبت به نمونه شاهد ۲/۵ برابر می‌باشد. وجود سنگدانه‌های بازیافتی با تخلخل بالا می‌توان دلیل این افزایش عمق نفوذ نسبت به نمونه شاهد باشد. استفاده از افزودنی‌های میکروسیلیس و مواد کریستال ساز در نمونه‌های بازیافتی سبب کاهش مقدار عمق نفوذ آب به صورت کلی می‌شود (نسبت به بتن بازیافتی بدون افزودنی). ولی، این افزودنی‌ها جبران این افزایش عمق نفوذ در بتن بازیافتی را نسبت به نمونه شاهد نمی‌کند.

## ۶- تشکر و قدردانی

این کار پژوهشی با همکاری کارخانه ژیکاوا انجام شده است و از راهنمایی و همکاری جناب آقای مهندس طاهباز، مدیر عامل کارخانه ژیکاوا در فرایند انجام آزمایش‌ها، بسیار سپاس گزاری می‌شود.

## ۷- مرجع‌ها

[۱] نیلی م، نظری مفرد ا. ۱۳۹۱. تأثیر مقاومت بتن مادر، دوده سیلیسی و الیاف فولادی بر مشخصات مکانیکی بتن بازیافتی، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران.

[۲] خرمی م ، دهقانیان چ ، خلیلی ا . ۱۳۸۵ . امکان سنجی کاربرد لاستیک مستهلک شده در ساخت بتن.تهران : مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن . شماره نشریه : گ – ٤٤٧.

[۳] استاندارد ملی ایران ۳۲۰۶ . تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌ها. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

[۴] ASTM C ٦٤٢. ١٩٩٧. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

[۵] ASTM C١٥٨٥. ٢٠٠٤. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.

[۶] EN ١٢٣٩٠-٨. ٢٠٠٠. Testing hardened concrete, part٨, Depth of penetration of water under pressure.