

## تاثیر پودر سنگ بر نسبت آب به سیمان نهایی، مقاومت فشاری و

### جذب آب کل جداول بتنی فشاری تر

سید رضا حسینی اقدم<sup>۱</sup>، محسن تدین<sup>۲</sup>، فریدون رضایی<sup>۲</sup>، مهدی نوفلاح<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، گروه مهندسی عمران، ملایر، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشگاه بوعلی سینا

۳- مسئول کنترل کیفیت شرکت دماوند سفید

Email: reza\_hab@yahoo.com

#### چکیده:

جداول بتنی که در کناره راه‌ها به عنوان جداگر و نیز در معابر برای هدایت آب‌های سطحی به کار می‌روند، یکی از پرمصرف‌ترین قطعات پیش ساخته در ساخت و سازهای شهری می‌باشند. روش نوین فشاری تر یکی از مناسب‌ترین روش‌های تولید جداول بتنی پیش ساخته در جهان به شمار می‌رود که در سال‌های اخیر در ایران نیز کاربرد پیدا کرده است. در این روش بر خلاف سایر روش‌های ساخت بتن و قطعات پیش ساخته بتنی، ابتدا مخلوط بتنی آبکی با نسبت آب به سیمان بالا ساخته شده و در قالب ریخته می‌شود سپس با اعمال فشار و با کمک مکش، بتن متراکم شده و آب اضافی آن خارج می‌شود. در نتیجه نسبت آب به سیمان نهایی کاهش می‌یابد و خواص بتن نهایی (پس از تراکم و خروج آب) تغییر می‌کند. در روش فشاری تر، کیفیت محصول تولید شده به عوامل مختلفی از جمله دانه بندی مصالح، نسبت‌های اختلاط بتن اولیه، مقدار و مدت زمان اعمال فشار بستگی دارد. در این تحقیق تاثیر استفاده از پودر سنگ بر نسبت آب به سیمان نهایی، مقاومت فشاری و جذب آب کل در جداول تولید شده به روش فشاری تر مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور چهار طرح اختلاط (یک طرح بدون استفاده از پودر سنگ و سه طرح با استفاده از دو، پنج و هشت درصد پودر سنگ) در نظر گرفته شد و با استفاده از دستگاه تولید جداول فشاری تر برای هر طرح سه جدول تولید گردید. نتایج نشان می‌دهند که برای دانه‌بندی و نسبت‌های اختلاط در نظر گرفته شده در این تحقیق، اضافه نمودن دو الی پنج درصد پودر سنگ مفید می‌باشد و موجب کاهش نسبت آب به سیمان نهایی، افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه و کاهش جذب آب کل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پودر سنگ، جداول بتنی پیش ساخته، روش فشاری تر، نسبت آب به سیمان

## ۱. مقدمه

جداول بتنی یکی از پرکاربردترین قطعات پیش ساخته در ساخت و سازه‌های شهری می‌باشند که در معابر برای هدایت آب‌های سطحی و همچنین به عنوان جداگر در کناره راه‌ها استفاده می‌شوند. توسعه معابر، خیابان‌ها و بزرگ راه‌ها از یک سو، تعمیر و جایگزینی جداول بتنی، که به دلایل مختلف دچار آسیب دیدگی می‌شوند از سوی دیگر، سبب بروز اختلال در عبور و مرور مردم و خودروها می‌شود. در کشور ما سالیانه مبالغ هنگفتی صرف تعمیر و جایگزینی جداول بتنی می‌شود. هزینه نسبتاً زیادی نیز صرف برداشت جداول معیوب، نصب مجدد و همچنین مشکلات اجرایی می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تنوع اقلیمی و عدم استفاده از بتن با دوام در شرایط لازم و همچنین ضعف‌هایی که در مراحل مختلف ساخت و اجرای جداول بتنی پیش ساخته وجود دارد، از عمده‌ترین دلایل کاهش عمر مفید این جداول در کشور به شمار می‌روند [۱]. استفاده از روش‌های نوین به جای روش‌های سنتی رایج و تولید جداولی با کیفیت مطلوب و عمر مفید بالا یکی از راه کارهای مناسب در جهت رفع مشکلات مربوط به این جداول می‌باشد.

برای ساخت جداول بتنی پیش ساخته روش‌های مختلفی از جمله روش سنتی قالب باز<sup>۱</sup>، روش فشاری تر<sup>۲</sup> و روش فشاری خشک<sup>۳</sup> (بدون اسلامپ) وجود دارد. در میان این روش‌ها، روش فشاری تر به عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌های تولید این جداول در جهان شناخته می‌شود [۲]. تولید کننده‌های قطعات بتنی پیش ساخته ایران نیز در سال‌های اخیر، ماشین‌های پیشرفته تولید جداول بتنی به روش فشاری تر را تهیه و اقدام به تولید جداول بتنی با این روش نموده‌اند. اگرچه استفاده از فناوری‌های نوین و دستگاه‌های پیشرفته، کیفیت جداول تولید شده را نسبت به نمونه‌های مشابهی که با روش‌های سنتی ساخته می‌شدند افزایش می‌دهد، اما این روش‌ها و لوازم فقط شرایط لازم را برای تولید جداولی با کیفیت مطلوب فراهم می‌کنند و کیفیت نهایی جداول تولید شده به عوامل دیگری از جمله نوع و کیفیت مصالح مورد استفاده، دانه بندی مصالح سنگی، نسبت‌های اختلاط و شرایط تولید و عمل آوری بستگی دارد. این در حالی است که فروشنده‌های دستگاه‌های تولید این جداول فقط نحوه استفاده و نگهداری از دستگاه را به خریداران آموزش می‌دهند و در رابطه با چگونگی استفاده از مواد اولیه و یا عوامل و شرایط تاثیرگذار بر تولید، اطلاعاتی را در اختیار خریداران قرار نمی‌دهند.

در این تحقیق تاثیر استفاده از پودر سنگ بر نسبت آب به سیمان نهایی، مقاومت فشاری ۲۸ روزه و جذب آب کل (که مشخصه‌هایی از کیفیت و دوام محصول تولید شده می‌باشند) در جداول بتنی پیش ساخته فشاری تر مورد بررسی قرار گرفته است. تا کنون در ارتباط با استفاده از پودر سنگ در جداول بتنی فشاری تر، تحقیقی صورت نگرفته و یا در صورت انجام نتایج آن گزارش نشده است.

<sup>1</sup> Wet-casting

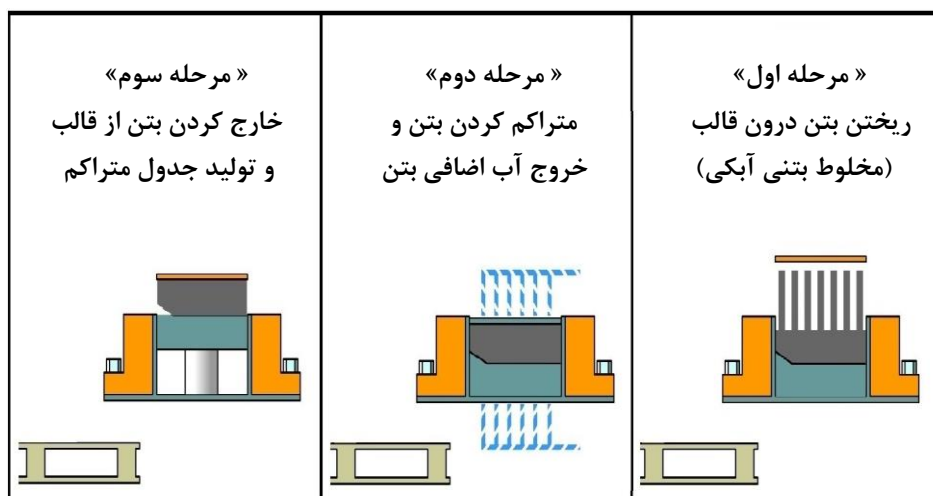
<sup>2</sup> Wet-pressing

<sup>3</sup> Earth-dry pressing (incorrectly called semi-dry pressing)

## ۲. معرفی روش فشاری تر

در ساخت قطعات پیش ساخته بتنی، اصل مهم در گذشته و حال این بوده است که بتوان به سرعت بتن را بدون آن که خرابی یا تغییر شکل زیادی در آن به وجود آید، از قالب خارج نمود. به همین منظور بتن‌هایی با آب بسیار کم (مخلوط خشک) به وجود آمدند. بدیهی است که قالب گیری این بتن‌ها نیاز به نیروی تراکمی و انرژی زیادی دارد. همچنین ساخت بتنی با کارایی بسیار کم (خشک و کم آب) به ویژه در ارتباط با اختلاط کامل و دستیابی به بتنی همگن دشوار است. برای خروج سریع‌تر بتن از قالب و داشتن بتنی همگن در هنگام اختلاط، بهتر دیدند که از یک بتن بسیار روان و با نسبت آب به سیمان بالا استفاده نمایند و به نحو مقتضی پس از ریختن بتن در قالب، آب اضافی را از طریق فشار زیاد و با استفاده از مکش خارج نمایند. بدین ترتیب روش فشاری تر برای ساخت قطعات پیش ساخته بتنی شکل گرفت [۳].

در ساخت جداول بتنی به روش فشاری تر بر خلاف سایر روش‌های ساخت بتن و قطعات پیش ساخته بتنی، نمی‌توان بتنی را با نسبت آب به سیمان مورد نظر برای قالب گیری ساخت. در این روش ابتدا مخلوط بتنی آبکی با نسبت آب به سیمان بالا ساخته شده (مخلوط بتنی اولیه) و در قالب دستگاه ریخته می‌شود. سپس با اعمال فشار و مکش، بتن متراکم شده و آب اضافی آن خارج می‌شود. در نتیجه نسبت آب به سیمان در جدول تولید شده (مخلوط بتنی نهایی) کاهش می‌یابد. نسبت موثر آب به سیمان به مفهوم نسبت مقدار آب آزاد به مقدار سیمان در بتن تازه است [۴]. نسبت آب به سیمان در هر مخلوط بتنی اثر قابل توجهی بر مقاومت و پایداری آن مخلوط دارد. کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت بتن را افزایش و نفوذ پذیری آن را کاهش می‌دهد. کاهش نفوذ پذیری نیز سبب افزایش پایداری بتن می‌شود. همچنین در روش فشاری تر به دلیل کاهش حجم بتن پس از تراکم و خروج آب، عیار سیمان نهایی افزایش می‌یابد. در شکل ۱ مراحل اصلی تولید یک جدول بتنی پیش ساخته به روش فشاری تر نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل تولید جداول بتنی پیش ساخته به روش فشاری تر [۵]

## ۳. مشخصات مصالح مصرفی

برای ساخت جداول بتنی پیش ساخته در صورتی که آب مصرفی همان آب شرب شبکه‌های شهری باشد نیازی به نمونه برداری و کنترل آن وجود ندارد و مناسب تلقی می‌شود [۶]. از این رو برای تولید جداول از آب شرب شهری (منطقه مهرشهر کرج) استفاده گردید. برای ساخت بتن از سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان آبیگ استفاده گردید. آزمایش تعیین جرم مخصوص مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۷۱۴۸، در آزمایشگاه با استفاده از بالن لوشاتلیه و نفت سفید بر روی سیمان مورد استفاده انجام گردید و چگالی آن ۳/۱۵ کیلوگرم بر لیتر به دست آمد. در مخلوط سنگ دانه‌ها از شن شکسته با حداکثر اندازه اسمی ۱۲/۵ میلیمتر و ماسه گرد گوشه با حداکثر اندازه اسمی ۴/۷۵ میلیمتر و پودر سنگ با حداکثر اندازه اسمی ۱/۱۸ میلیمتر استفاده گردید. آزمایش تعیین جرم مخصوص، چگالی و جذب آب سنگ دانه ریز مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۰ بر روی ماسه و آزمایش تعیین جرم مخصوص، چگالی و جذب آب سنگ دانه درشت مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۲ بر روی شن انجام شدند. همچنین جرم مخصوص پودر سنگ نیز مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۷۱۴۸ تعیین گردید. مشخصات فیزیکی سنگ دانه‌ها در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سنگ دانه‌ها

شکل	حالت خشک		حالت اشباع با سطح خشک		نوع سنگ دانه
	مدول نرمی	درصد عبوری از الک ۲۰۰	جذب آب	جرم مخصوص (کیلوگرم بر لیتر)	
تیز گوشه	۶/۳	۰/۹	۲/۱	۲/۶۰	شن
گرد گوشه	۳/۷	۱/۹	۳/۲	۲/۵۳	ماسه
*	۰/۹	۴۶	*	۲/۷۴	پودر سنگ

همچنین آزمایش دانه بندی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۷۷ بر روی مصالح سنگی انجام گردید که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- نتایج دانه بندی مصالح سنگی (درصد عبوری از الک)

شماره الک	۳/۴	۱/۲	۳/۸	۴	۸	۱۶	۳۰	۵۰	۱۰۰
قطر الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۱/۱۸	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵
شن	۱۰۰	۹۸	۶۶	۳	۱	۱	۱	۱	۱
ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۱	۶۱	۳۸	۲۵	۱۲	۴
پودر سنگ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸	۸۲	۷۳	۵۵

#### ۴. روند تحقیق

در این تحقیق چهار طرح اختلاط (یک طرح بدون استفاده از پودر سنگ و سه طرح با سه میزان پودر سنگ) مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شد. در این جدول درصد مواد ریزتر از ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرون، درصد مصالح ریز موجود در کل مخلوط سنگدانه (در صد عبوری از الک ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرون) در حالت خشک می‌باشد. نسبت آب به سیمان اولیه و عیار سیمان اولیه برای تمام طرح‌ها ثابت در نظر گرفته شد. سپس در کارخانه و با استفاده از یک دستگاه تولید جداول بتنی فشاری تر، برای هر طرح سه جدول با ابعاد ۴۰ در ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت  $1 \pm 15$  سانتی‌متر تولید گردید. پس از تولید جداول، نسبت آب به سیمان نهایی هر جدول با استفاده از دو روش جدید (روش وزنی و روش حجمی) تعیین گردید [۷]. همچنین ۳۶ نمونه استوانه‌ای از جداول تولید شده مغزه‌گیری و آزمایش‌های مقاومت فشاری ۲۸ روزه و جذب آب کل بر روی نمونه‌ها انجام گردید. بدین ترتیب با افزودن سه میزان پودر سنگ به مصالح سنگی بتن اولیه، تاثیر میزان مواد گذشته از الک‌های ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرون بر نسبت آب به سیمان نهایی، مقاومت فشاری ۲۸ روزه و جذب آب کل مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳ طرح‌های اختلاط

مشخصات طرح‌ها	عیار سیمان ( $\text{Kg/m}^3$ )	نسبت آب به سیمان	سهم حجمی			مواد ریزتر از		
			شن	ماسه	پودر سنگ	۷۵ میکرون (%)	۱۵۰ میکرون (%)	۳۰۰ میکرون (%)
ط ۱	۳۷۵	۰/۷	۴۰	۶۰	۰	۷	۳	۱/۱
ط ۲	۳۷۵	۰/۷	۴۰	۵۸	۲	۹	۴	۲/۳
ط ۳	۳۷۵	۰/۷	۴۰	۵۵	۵	۱۱	۶	۳/۷
ط ۴	۳۷۵	۰/۷	۴۰	۵۲	۸	۱۳	۷	۵/۱

#### ۵. تعیین نسبت آب به سیمان نهایی (روش وزنی)

در روش وزنی، نسبت آب به سیمان نهایی جداول با استفاده از وزن کردن بتن ریخته شده در قالب و همچنین وزن کردن جدول تولید شده، تعیین می‌گردد. در روش فشاری تر و در مرحله تراکم، فقط آب از جدول خارج می‌شود و مقدار مصالح دیگر از جمله شن، ماسه و سیمان موجود در جدول ثابت می‌باشد. از این رو، اختلاف وزن جدول قبل و بعد از مرحله تراکم (اختلاف وزن بتن ریخته شده در قالب و جدول تولید شده) برابر با وزن آب خارج شده از جدول می‌باشد. به عبارتی دیگر در فرایند تراکم و خروج آب، مقدار مصالح موجود در جدول (در حالت اشباع با سطح خشک) ثابت بوده و فقط مقدار آب آزاد اولیه موجود در آن (به مقدار وزن آب خارج شده از جدول) کاهش می‌یابد. در روش وزنی، جداول به صورت نیمه اتوماتیک تولید می‌شوند. به این صورت که پس از تعیین رطوبت مصالح، طرح اختلاط اصلاح می‌شود و مصالح با استفاده از یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی به صورت دستی

مخلوط می‌شوند. سپس بتن تولید شده به اندازه مورد نیاز وزن شده و به صورت دستی در قالب ریخته می‌شود. سپس سایر مراحل تولید از جمله اعمال فشار و مکش، خروج آب و چیدن جدول بر روی کفی به صورت اتوماتیک انجام می‌شود. در پایان، جدول تولید شده وزن می‌شود و نسبت آب به سیمان نهایی آن با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$W/C(f) = (W_{f(i)} - W_e) / C \quad (1)$$

که در آن  $W/C(f)$  نسبت آب به سیمان نهایی،  $W_{f(i)}$  مقدار آب آزاد اولیه و  $W_e$  مقدار آب خارج شده از جدول (اختلاف وزن اولیه و نهایی جدول) و  $C$  مقدار سیمان موجود در جدول می‌باشد [۷].

## ۶. تعیین نسبت آب به سیمان نهایی (روش حجمی)

همان طور که اشاره شد، در طول مرحله تراکم، فقط آب از جدول خارج می‌شود و مقدار مصالح دیگر از جمله شن، ماسه و سیمان موجود در جدول ثابت می‌باشد. اساس روش حجمی بر این اصل استوار است که، اختلاف حجم جدول قبل و بعد از مرحله تراکم (اختلاف حجم بتن ریخته شده در قالب با جدول تولید شده) برابر با حجم آب خارج شده از جدول می‌باشد. به عبارتی دیگر در فرایند تراکم و خروج آب، مقدار مصالح موجود در جدول (در حالت اشباع با سطح خشک) ثابت بوده و فقط حجم آب آزاد اولیه موجود در آن (به مقدار حجم آب خارج شده از جدول) کاهش می‌یابد. با مشخص شدن حجم اولیه و نهایی هر جدول و با توجه به طرح اختلاط، نسبت آب به سیمان نهایی آن جدول به راحتی با استفاده از رابطه ۲ تعیین می‌گردد.

$$W/C(f) = W/C(i) - [(V_{k(i)} - V_{k(f)}) / (C_{c(i)} \times V_{k(i)})] \times 1000 \quad (2)$$

که در آن  $W/C(f)$  نسبت آب به سیمان نهایی جدول،  $W/C(i)$  نسبت آب به سیمان اولیه جدول،  $V_{k(i)}$  حجم اولیه جدول (بتن ریخته شده در قالب) بر حسب لیتر،  $V_{k(f)}$  حجم نهایی جدول بر حسب لیتر و  $C_{c(i)}$  عیار سیمان اولیه جدول بر حسب کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد [۷].

در روش حجمی بر خلاف روش وزنی، جداول به صورت تمام اتوماتیک تولید می‌شوند. با استفاده از این روش در کمتر از چند دقیقه می‌توان نسبت آب به سیمان نهایی هر جدول دلخواه را با اندازه‌گیری حجم اولیه و حجم نهایی آن جدول در خط تولید و در هنگام تولید انبوه جداول تعیین کرد. در جداول بتنی تولید شده به روش فشاری تر، معمولاً طول و ارتفاع جداول ثابت و مطابق اندازه قالب ماشین می‌باشند. از این رو با اندازه‌گیری ضخامت بتن ریخته شده در قالب (قبل از تراکم بتن) و ضخامت جدول نهایی (پس از تولید جدول)، به سادگی می‌توان حجم بتن اولیه و جدول نهایی را تعیین کرد. لازم به ذکر است که انجام این روش نیازمند استفاده از ابزارهای دقیق اندازه‌گیری و دقت در اندازه‌گیری می‌باشد.

## ۷. تعیین مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۰۶ بر روی ۲۴ نمونه (دو نمونه از هر جدول) در سن ۲۸ روز انجام و مقاومت فشاری هر نمونه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$f_c = F / A_c \quad (۳)$$

که در آن  $f_c$  مقاومت فشاری نمونه بر حسب مگاپاسکال،  $F$  حداکثر نیروی گسیختگی بر حسب نیوتن و  $A_c$  سطح برابر بر حسب میلیمتر مربع می‌باشد [۸].

قطر نمونه‌های مغزه‌گیری شده ۹۳ الی ۹۵ میلیمتر و ارتفاع آن‌ها ۱۳۰ الی ۱۵۰ میلیمتر بود. از این رو ابتدا برای هر نمونه، مقاومت به دست آمده از رابطه ۳ با استفاده از ضرایب جدول ۴، به مقاومت نظیر استوانه استاندارد ۱۰۰ در ۲۰۰ میلی متر تبدیل گردید. سپس با استفاده از ضریب تبدیل مقاومت آزمون‌های استوانه‌ای غیر استاندارد به استاندارد (ضریب تبدیل ۱/۰۲) به مقاومت نظیر استوانه استاندارد ۳۰۰ در ۱۵۰ میلی متر تبدیل گردید.

جدول ۴ ضرایب تبدیل مقاومت نمونه استوانه‌ای با نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۲ به مقاومت نمونه استاندارد [۹]

نسبت ارتفاع به قطر استوانه	۱/۷۵	۱/۵	۱/۲۵	۱
ضرایب تبدیل	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۸۷

## ۸. تعیین جذب آب کل

۱۲ نمونه مربوط به آزمایش جذب آب (یک نمونه از هر جدول) پس از مغزه‌گیری به مدت ده ماه در آزمایشگاه و در خارج از آب (دما و رطوبت معمول آزمایشگاه) نگهداری شدند. سپس آزمایش تعیین جذب آب کل مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ بر روی نمونه‌ها انجام و جذب آب کل برای هر نمونه از رابطه ۴ محاسبه گردید. به طور معمول برای پذیرش جداول بتنی، آزمایش جذب آب در سن ۲۸ روز و کمتر انجام می‌شود. با توجه به این که در این تحقیق آزمایش جذب آب پس از گذشت ده ماه بر روی نمونه‌ها انجام شده است، نمی‌توان از نتایج به دست آمده برای پذیرش جداول (مقایسه نتایج جذب آب با محدوده مجاز مطرح شده در استاندارد) استفاده نمود. اما با توجه به این که شرایط نگهداری برای تمام نمونه‌ها یکسان بوده است، می‌توان از نتایج این آزمایش برای مقایسه طرح‌ها و بررسی تاثیر مواد ریزدانه سنگی بر جذب آب کل جداول استفاده نمود.

$$W_a = [ ( M_1 - M_2 ) / M_2 ] \times 100\% \quad (۴)$$

که در آن  $W_a$  درصد جذب آب کل،  $M_1$  جرم نمونه اشباع بر حسب گرم و  $M_2$  جرم نمونه خشک بر حسب گرم می‌باشد [۱۰].

## ۹. نتایج

در این تحقیق، چهار طرح اختلاط در نظر گرفته شد و ۱۲ جدول تولید گردید. وزن اولیه، وزن نهایی، حجم اولیه و حجم نهایی هر جدول اندازه‌گیری و نسبت آب به سیمان نهایی با استفاده از دو روش وزنی و حجمی تعیین گردید. آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر روی ۲۴ نمونه استوانه‌ای و آزمایش جذب آب کل نیز بر روی ۱۲ نمونه انجام گردید. نتایج به دست آمده در جدول ۵ خلاصه شده‌اند.

جدول ۵- نتایج تعیین شده برای هر جدول

شماره جدول	نسبت آب به سیمان نهایی		مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)		جذب آب کل (%)
	روش وزنی	روش حجمی	نمونه اول	نمونه دوم	
ط ۱ - ج ۱	۰/۳۰	۰/۳۱	۴۶/۰	۴۵/۵	۵/۷
ط ۱ - ج ۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۴۲/۵	۴۱/۵	۶/۳
ط ۱ - ج ۳	۰/۳۳	۰/۳۲	۴۰/۵	۴۹/۰	۵/۶
ط ۲ - ج ۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۵۲/۵	۵۱/۵	۵/۴
ط ۲ - ج ۲	۰/۳۱	۰/۳۰	۵۱/۰	۵۰/۰	۵/۵
ط ۲ - ج ۳	۰/۲۹	۰/۲۹	۵۰/۵	۴۷/۵	۵/۷
ط ۳ - ج ۱	۰/۳۰	۰/۲۹	۶۱/۰	۵۵/۰	۵/۴
ط ۳ - ج ۲	۰/۳۰	۰/۲۹	۴۹/۰	۴۳/۰	۵/۵
ط ۳ - ج ۳	۰/۳۰	۰/۳۰	۴۴/۵	۵۱/۰	۵/۴
ط ۴ - ج ۱	۰/۳۳	۰/۳۲	۳۸/۵	۳۹/۰	۶/۲
ط ۴ - ج ۲	۰/۳۳	۰/۳۲	۳۶/۰	۳۸/۵	۶/۲
ط ۴ - ج ۳	۰/۳۲	۰/۳۱	۵۱/۰	۴۶/۵	۶/۳

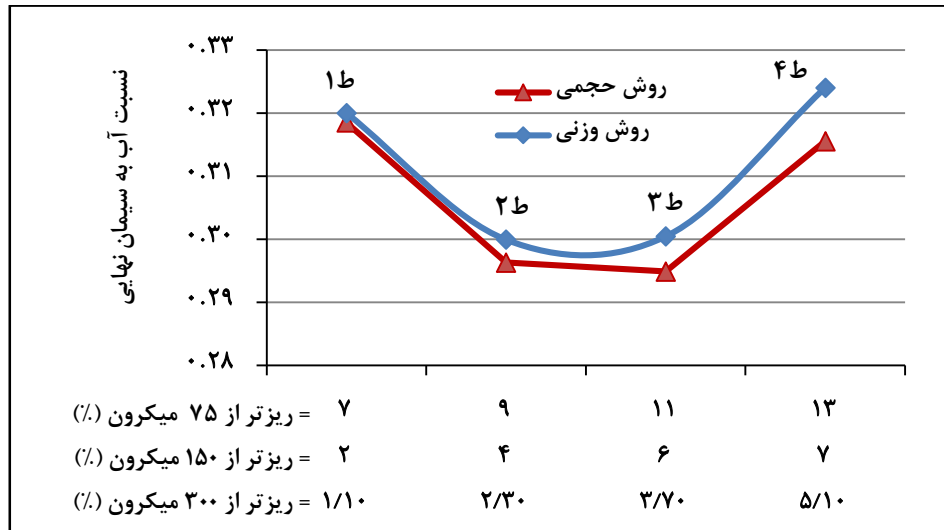
جهت بررسی نتایج، میانگین نسبت آب به سیمان نهایی سه جدول هر طرح محاسبه گردید و به عنوان نسبت آب به سیمان نهایی آن طرح در نظر گرفته شد. همچنین میانگین مقاومت فشاری شش آزمون مربوط به سه جدول هر طرح نیز محاسبه گردید و به عنوان مقاومت فشاری آن طرح در نظر گرفته شد. میانگین جذب آب کل سه جدول هر طرح نیز به عنوان جذب آب کل آن طرح در نظر گرفته شد. نتایج محاسبه شده در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

جدول ۵- میانگین نتایج تعیین شده برای جداول هر طرح

شماره طرح	نسبت آب به سیمان نهایی		مقاومت فشاری ۲۸ روزه		جذب آب کل (%)
	روش وزنی	روش حجمی	(مگاپاسکال)		
ط ۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۴۴/۰		۵/۹
ط ۲	۰/۳۰	۰/۳۰	۵۰/۵		۵/۶
ط ۳	۰/۳۰	۰/۲۹	۵۰/۵		۵/۴
ط ۴	۰/۳۲	۰/۳۲	۴۱/۵		۶/۲



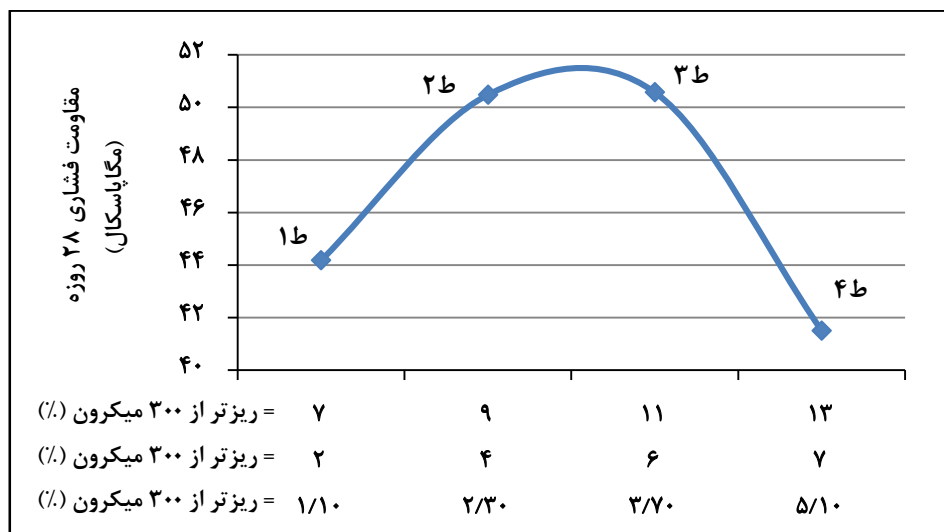
نمودارهای مربوط به این نتایج نیز در شکل ۲، شکل ۳ و شکل ۵ نشان داده شده‌اند. شکل ۲ تاثیر میزان مواد ریزدانه سنگی بر نسبت آب به سیمان نهایی (روش وزنی و روش حجمی)، شکل ۳ تاثیر میزان مواد ریزدانه سنگی بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه و شکل ۵ تاثیر میزان مواد ریزدانه سنگی بر جذب آب کل را نشان می‌دهند.



شکل ۲- تاثیر میزان مواد ریزدانه سنگی بر نسبت آب به سیمان نهایی

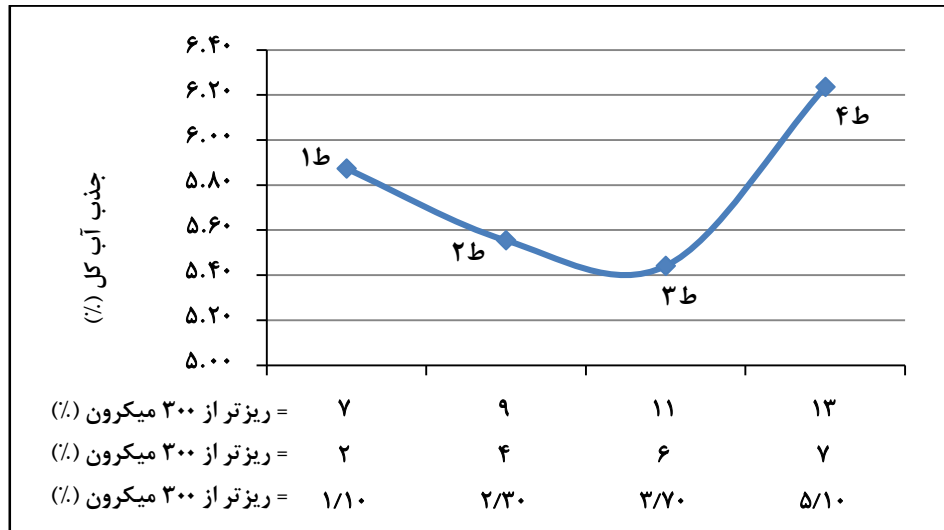
مطابق شکل ۲، نتایج هر دو روش وزنی و حجمی نشان می‌دهند که افزایش دو و پنج درصد پودر سنگ (ط ۲ و ط ۳) به مصالح سنگی موجب کاهش نسبت آب به سیمان نهایی در مقایسه با طرح مشابهی که در آن از پودر سنگ استفاده نشده بود (ط ۱)، گردیده است. اما افزایش مقدار پودر سنگ به هشت درصد (ط ۴)، موجب افزایش نسبت آب به سیمان نهایی گردیده است.

ط ۳



شکل ۴- تاثیر میزان مواد ریزدانه سنگی بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه

شکل ۴ نشان می‌دهد که افزایش دو و پنج درصد پودر سنگ به مصالح سنگی (ط ۲ و ط ۲) موجب افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه در مقایسه با طرح اختلاط مشابهی که در آن از پودر سنگ استفاده نشده بود (ط ۱)، گردیده است. اما افزایش مقدار پودر سنگ به هشت درصد (ط ۴)، موجب کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه گردیده است.



شکل ۵- تاثیر میزان مواد ریزدانه سنگی بر جذب آب کل

مطابق شکل ۵، افزایش دو و پنج درصد پودر سنگ (ط ۲ و ط ۳) به مصالح سنگی موجب کاهش جذب آب کل در مقایسه با طرح مشابهی که در آن از پودر سنگ استفاده نشده بود (ط ۱)، گردیده است. اما افزایش مقدار پودر سنگ به هشت درصد (ط ۴)، موجب افزایش جذب آب کل گردیده است.

#### ۱۰. نتیجه‌گیری

برای مصالح مورد استفاده در این تحقیق، در محدوده نسبت‌های اختلاط در نظر گرفته شده (نسبت آب به سیمان ۰/۷ و عیار سیمان ۳۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب)، برای جداول بتنی با ابعاد جدول با ابعاد ۴۰ در ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱ ± ۱۵ سانتی‌متر و ماشین چهار ایستگاهی مورد استفاده در این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که، اضافه نمودن پودر سنگ به میزان دو الی پنج درصد، منجر به کاهش نسبت آب به سیمان نهایی، افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه و کاهش جذب آب کل می‌گردد. از این رو استفاده از این مقدار پودر سنگ و کنترل مواد ریز تر از ۷۵ میکرون در محدوده نه الی ۱۱ درصد، مواد ریز تر از ۱۵۰ میکرون در محدوده چهار الی شش درصد و مواد ریز تر از ۳۰۰ میکرون در محدوده ۲/۳ الی ۳/۷ درصد، مفید می‌باشد و توصیه می‌گردد.

## ۱۱. قدردانی

شرکت ساختمانی تولیدی تحقیقاتی آپتوس ایران با توجه به اهداف اولیه خود در زمینه بهبود مستمر محصولات تولیدی و اعتلای صنعت بتن و قطعات بتنی، در سال‌های اخیر اقدام به راه اندازی خط تولید تمام اتوماتیک قطعات بتنی پیش ساخته با فناوری فشاری تر نموده است. این تحقیق در خط تولید جداول بتنی این شرکت انجام شده است. از مدیران محترم شرکت آپتوس ایران، آقای دکتر شاهین ظهوری و آقای دکتر شهریار ظهوری جهت فراهم نمودن امکانات لازم جهت انجام این تحقیق کمال تشکر را داریم. همچنین از کلیه افرادی که ما را در این تحقیق یاری کردند از جمله مهندس امیر شیبانی و آقای بهزاد بزرگ سپاس‌گزاریم.

## ۱۲. مراجع

- [۱] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۸)، *ضابطه ساخت جداول بتنی*، چاپ دوم، نشریه شماره ض-۵۱۷.
- [۲] Alan Lilley, *Precast Concrete Paving, History, Design, Applications and Problems*, The Journal of the Institution of Highways and Transportation & HTTA, July 1988, No.7, Vol.35.
- [۳] محسن تدین، فریدون رضایی، سید رضا حسینی اقدم، مهدی نوفلاح، مروزی بر تاریخچه و روش‌های ساخت روسازی‌های بتنی پیش ساخته، نشریه داخلی انجمن بتن ایران، شماره ۴۵، بهار ۱۳۹۱.
- [۴] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۸)، *روش ملی طرح مخلوط بتن*، چاپ دوم، نشریه شماره ض-۴۷۹.
- [۵] [http://www.forestpresshyd.com/about\\_us\\_the\\_basics.php](http://www.forestpresshyd.com/about_us_the_basics.php).
- [۶] محسن تدین، فریدون رضایی، سید مسعود نصر آزادانی (۱۳۸۸)، *مشخصات فنی، راهنمای تولید و پذیرش جداول بتنی پیش ساخته*، معاونت مهندسی و برنامه‌ریزی شهرداری تهران.
- [۷] محسن تدین، فریدون رضایی، سید رضا حسینی اقدم، معرفی روش خشک کردن با استفاده از ماکروویو برای تعیین نسبت آب به سیمان نهایی جداول بتنی پیش ساخته فشاری تر و مقایسه آن با دو روش پیشنهادی، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، خرداد ۱۳۹۱.
- [۸] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۷۱)، *تعیین مقاومت فشاری آزمون‌های بتن*، چاپ اول، استاندارد شماره ۳۲۰۶.
- [۹] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۵)، *تفسیر بخش اول آبا، آیین نامه بتن ایران آبا*، تجدید نظر اول، چاپ دوم، ضمیمه نشریه شماره ۱۲۰.
- [۱۰] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۸)، *جداول بتنی پیش ساخته- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون*، چاپ اول، استاندارد شماره ۱۲۷۲۸.