



بررسی کیفیت مصالح معادن استان مازندران در ساخت بتن با استفاده از مقاومت خمشی و کششی (معادن مرزن آباد، آمل، کجور-دشت نظیر)

سینا علیدوستی^۱، حمید رضا مختاری نیا^۲، سارا علیدوستی^۳

۱. کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری دانشگاه علم و صنعت تهران

۳. کارشناسی ارشد مهندسی معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

چکیده

با توجه به توسعه صنعت ساختمان سازی در کشور، صنعت بتن از صنایع مهم کشور به حساب می آید، لذا نیاز به تکنولوژی بتن امری ضروری است. با توجه به این موضوع که درصد بالایی از بتن متشکل از مصالح سنگی می باشد در نتیجه تاثیر بسزایی در کارایی بتن نیز دارد. برای ارزیابی مصالح سنگی می بایست نوع دانه بندی و جنس مصالح سنگی در هر منطقه با توجه به شرایط آن منطقه مورد بررسی قرار گیرد تا شناخت بیشتری نسبت به منابع موجود حاصل گردد. برای این منظور در این پژوهش ارزیابی مقایسه ای بین بتن های ساخته شده از مصالح سنگی سه معدن از استان مازندران که تأمین کننده مصالح مورد نیاز غرب استان می باشند، پرداخته شده است. در این راستا یک معدن در شهرستان آمل و معادن مرزن آباد در شهرستان چالوس و دشت نظیر در منطقه کجور شهرستان نوشهر مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا برای مصالح سنگی معادن موجود، آزمایش های دانه بندی، مدول نرمی، ارزش ماسه ای و وزن مخصوص را انجام و در مرحله بعد برای بتن های ساخته شده آزمایش مقاومت خمشی انجام شده و سپس با استفاده از پارامترهای موجود، مقادیر مقاومت کششی و مدول الاستیسیته مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از آزمایش خمشی نشان دهنده ی مقاومت بیشتر مصالح سنگی دو معدن دشت نظیر و آمل نسبت به معدن مرزن آباد بوده است و همچنین با اصلاح دانه بندی و شستشوی مصالح سنگی این دو معدن می توان سیمان مصرفی را با توجه به مقاومت مشخصه بتن به اندازه ۵ الی ۱۰ درصد کاهش داد.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، کیفیت مصالح سنگی، طرح اختلاط بهینه

مقدمه

امروزه در پی گسترش صنعت ساخت و ساز در کشور و به دنبال زیان های جانی و مالی گسترده که در اثر حوادث طبیعی همچون زلزله هر از گاهی از گوشه و کنار این سرزمین به گوش می رسد، افزایش دقت و ایمنی در تولید و سپس اجرای سازه های مهندسی امری ضروری می باشد. از جمله راهکارهای مناسب می توان دستیابی به ترکیبات جدیدی از مصالح ساختمانی جهت تسهیل پروژه های پیچیده به منظور افزایش ضریب اطمینان و ایمنی ساخت آنها از طریق مکانیزه کردن امور و کاهش دخالت نیروی انسانی اشاره نمود و همچنین به نظر می رسد که در تقلیل هزینه های مالی در طرح های پر خرج موثر واقع گردد. بتن به عنوان پر تولید ترین ماده صنعتی در جهان می باشد که انواع و اقسام مختلفی دارد. بتن پس از آب، پر مصرف ترین ماده



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

روی زمین به شمار می‌رود. میزان تولید بتن در دنیا بالغ بر ۴ میلیارد متر مکعب و در ایران ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود. مقاومت خوب در برابر آتش سوزی، دسترسی آسان به مصالح و مقاومت فشاری خوب، استفاده از آن را با مقبولیت عمومی روبرو کرده است. بتن بنا به تعریف مخلوطی از سه جز اصلی سنگدانه (شن و ماسه)، حد اشتراک (محل اتصال) و خمیر سیمان (سیمان و آب) است که آن را می‌توان به شکل‌های زیادی درآورد. بتن به عنوان ماده‌ای پر مصرف در صنعت ساخت و ساز در جهان ۱۰ برابر بیشتر از فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگر دلایل مقبولیت بتن می‌توان به مقاومت بالا در برابر آب اشاره نمود. عموماً اجزای سازه‌هایی که در معرض رطوبت قرار دارند، نظیر لوله‌ها، پی‌ها، پایه‌ها، کف‌ها، تیرها، ستون‌ها، سقف‌ها، دیوارهای خارجی و روسازی‌ها با بتن مسلح ساخته می‌شوند. بتن مسلح که در آن از فولاد و بتن استفاده می‌شود، طوری طراحی شده که دو مصالح بتن و فولاد تماماً برای تحمل نیروهای وارد بر قطعه مقاومت کنند. خمیری بودن بتن از دیگر دلایل کاربرد گسترده‌ی بتن می‌باشد. از آنجایی که بتن تازه دارای خاصیت فرم‌پذیری بوده و به راحتی درون قالب به شکل‌های مختلف ریخته می‌شود، در نتیجه کاربرد آن برای ساخت اجزای مختلف سازه را فراگیر کرده است.

مبانی تحقیق

آقای راستاد و همکاران در مقاله‌ی ارائه شده در هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی تحت عنوان بررسی اثر جنس سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن، با استفاده از شش نوع سنگدانه متفاوت و طرح اختلاط ثابت و همچنین منحنی دانه بندی یکسان نمونه‌های بتن را ساخت و رابطه بین ویژگی‌های فیزیکی اولیه سنگدانه‌ها و مقاومت فشاری بتن را بررسی نمود. در نهایت این نتیجه حاصل شد که سنگ‌های با درصد جذب آب بالاتر، مقاومت بیشتری نسبت به سنگ‌های با استحکام اولیه بیشتر، ولی درصد جذب آب کمتر، دارند.

در مقاله‌ی ارائه شده توسط سرکار خانم خادمی و همکاران در دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران تحت عنوان بررسی تاثیر جداگانه‌ی اجزای تشکیل دهنده‌ی بتن بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی آن، تعداد ۹۰ نمونه‌ی بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف در آزمایشگاه ساخته شد و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن‌ها اندازه‌گیری شد سپس تأثیر عوامل مختلف روی مقاومت فشاری بتن به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که با افزایش میزان میکروسیلیس، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. این آزمایش برای چندین نسبت آب به سیمان مختلف انجام شد و در تمام موارد نتایج مشابهی بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش نسبت آب به سیمان منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد، در حالی که برای مقدار ثابت آب، با افزایش میزان سیمان، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. در نهایت، تأثیر میزان سنگدانه‌ی مصرفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت سنگدانه ریز به درشت مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد.

در مقاله‌ی بررسی تاثیر شکل هندسی سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن که توسط آقای سربازمنور و همکاران در دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران ارائه گردید، چهار طرح اختلاط با انواع شکل سنگدانه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحلیل نشان داد که مقاومت بتن با شکل سنگدانه‌های مصرفی رابطه‌ی مستقیم دارد و مقاومت نمونه‌هایی که با شن و ماسه شکسته ساخته شده از نمونه‌هایی که با شن و ماسه گردگوشه ساخته شده بیشتر است و همچنین مقاومت نمونه‌هایی که با شن شکسته و ماسه گردگوشه ساخته شده کمتر از نمونه‌هایی است که با شن و ماسه شکسته ساخته شده است اما بسیار به آن نزدیک می‌باشد.

آقای کمرودی در مقاله‌ی افزایش مقاومت فشاری بتن بواسطه تغییرات در مشخصات فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی که در کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری ارائه گردید، به بررسی ۳۶ نمونه مکعبی ساخته شده از سنگدانه‌های مختلف مطابق منحنی دانه‌بندی استاندارد ASTM C۳۳ پرداخت. بر اساس نتایج حاصله، مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالاتر شدیداً تحت تاثیر مشخصات ذرات سنگدانه و دانه‌بندی آن‌ها می‌باشد.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

در مقاله بررسی تأثیر شکل و اندازه و اندازه بزرگترین سنگدانه بر مقاومت فشاری نمونه های بتنی که توسط آقای توکلی زاده و همکاران در هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ارائه گردید، چهار طرح اختلاط متفاوت و تعداد ۱۵۰ نمونه ای استوانه ای و مکعبی، هر کدام در چهار اندازه مختلف، تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل نشان از تأثیر شکل و اندازه نمونه در مقاومت فشاری آزمایشگاهی داد به طوری که با افزایش اندازه ای نمونه ها، مقاومت فشاری نمونه کاهش یافت همچنین با افزایش اندازه بزرگترین سنگدانه در مقاومت فشاری استاندارد یکسان، نسبت مقاومت نمونه مکعبی به نمونه استوانه ای کاهش یافت.

روش تحقیق مقاومت خمشی

در آزمایش خمشی سه نقطه ای نمونه ای منشوری $100 \times 100 \times 500$ میلی متری با سرعت 0.5 MPa در دقیقه بارگذاری می شود. مقاومت خمشی به صورت مدول گسیختگی که تنش حداکثر در شکست بوده و از رابطه زیر محاسبه می شود، بدست می آید.

$$\text{رابطه ۱} \quad C = \frac{a}{2} \quad I = \frac{a^4}{12} \quad M = \frac{P.L}{4} \quad \sigma = \frac{M.C}{I}$$

در فرمول فوق σ مدول گسیختگی، P حداکثر بار در هنگام گسیختگی، L طول دهانه، a عرض یا ارتفاع نمونه (عرض و ارتفاع نمونه ها با هم برابر است) می باشد. در شکل ۱ دستگاه بکار برده شده در آزمایش خمشی این پژوهش نشان داده شده است. (Kaplan, 1959)



شکل ۱: نمونه مقاومت خمشی



شکل ۲: نمونه شکسته شده‌ی مقاومت خمشی

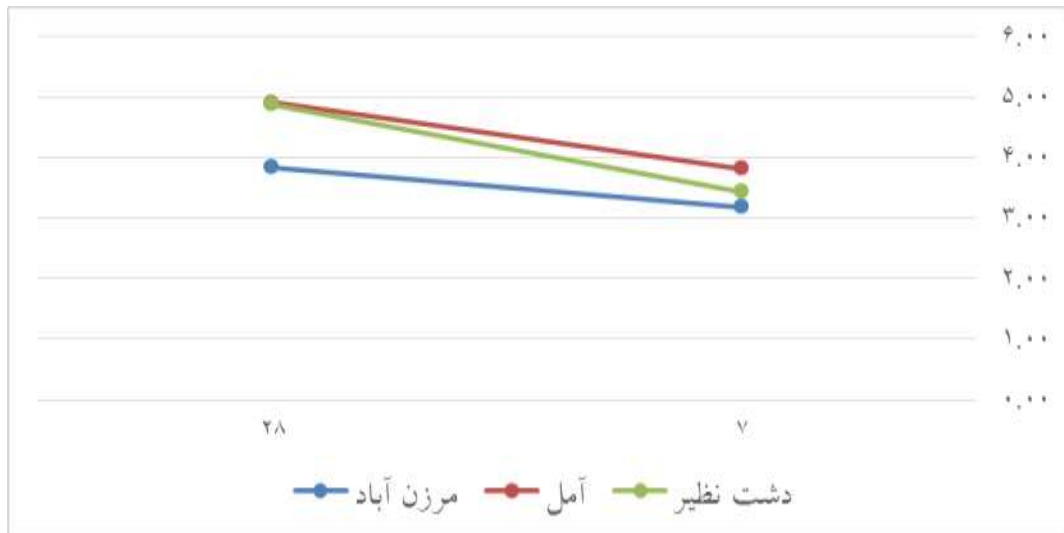


شکل ۳: نمونه شکسته شده‌ی مقاومت خمشی

یافته ها

مقاومت خمشی

نتایج حاصل از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه های هر سه رده مقاومت و هر سه معدن در سنین ۷ و ۲۸ روزه در نمودار های زیر به تفکیک ارائه شده و در پایان هر بخش نتایج بدست آمده مورد بحث قرار گرفته است. همچنین در پایان هر سه بخش نتایج به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که مشاهده می گردد با گذشت زمان و افزایش سن نمونه، مقاومت خمشی نیز افزایش می یابد. نمونه های مقاومت خمشی در سه رده و طرح اختلاط ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفته اند.



نمودار ۱: نتایج کلی مقاومت خمشی با نسبت آب به سیمان ۰/۵ (بر حسب MPa)

مقایسه نتایج حاصل شده با استاندارد مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

در جدول ۱ مقادیر استاندارد و همچنین یک ردیف از هر معدن با استفاده از روابط پارامتریک و با استفاده از مقاومت مشخصه بتن و مقاومت فشاری استاندارد استوانه‌ای نمونه‌ها بدست آمده است. بررسی مقادیر جدول ابتدا نشان دهنده مورد تایید قرار گرفتن کلیه نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه برای هر سه معدن می‌باشد. اما فاصله زیاد مقادیر معدن مرزن آباد با دو معدن دیگر نشان دهنده اتصال کم سنگدانه‌ها با ملات سیمان و به نوعی وجود بیشتر مصالح سنگی گرد گوشه در مصالح معدن مرزن آباد نسبت به دو معدن دیگر می‌باشد. با همهی این تفاسیر جواب‌های بدست آمده برای هر سه معدن نشان از طرح اختلاط مناسب در این مقاومت مشخصه با نسبت آب به سیمان ۰/۵ می‌باشد. البته با توجه به نتایج برای رسیدن به طرح اختلاط بهینه می‌توان میزان سیمان مصرفی را ۵ الی ۱۰ درصد کاهش داد.

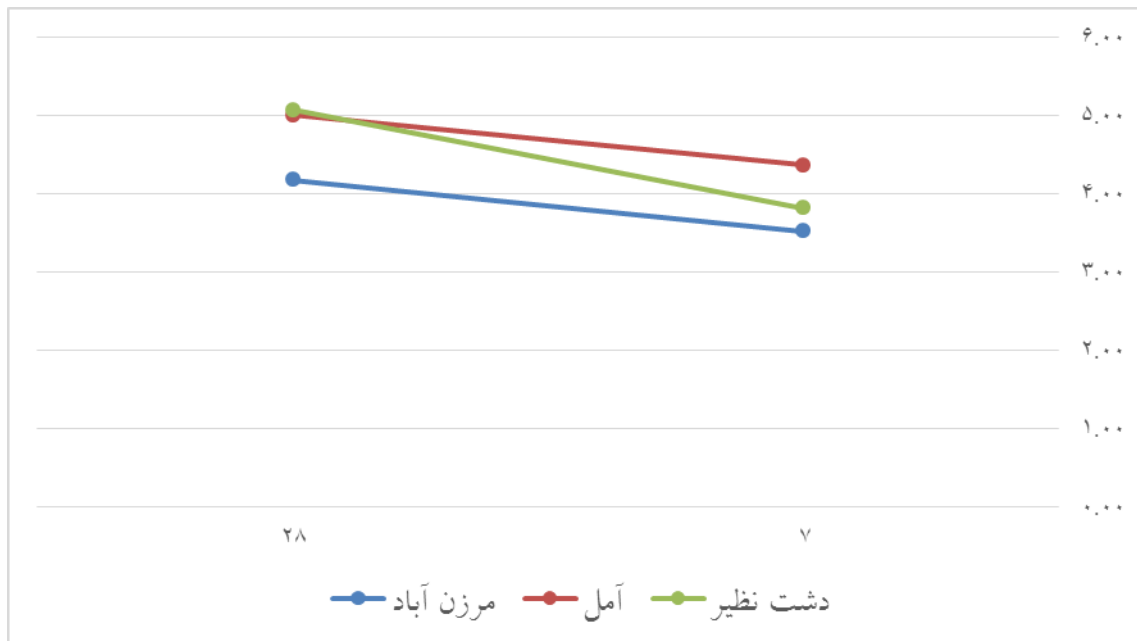
جدول ۱: مقایسه مقاومت خمشی - نسبت آب به سیمان ۰/۵

سن نمونه		مقاومت خمشی MPa
۲۸ روزه	۷ روزه	
۲/۸۵	۲/۲۴	استاندارد
۲/۷۴	۲/۳۰	مرزن آباد (روابط)
۳/۸۴	۳/۱۹	مرزن آباد (آزمایش نمونه)
۳/۰۸	۲/۵۹	آمل (روابط)
۴/۹۱	۳/۸۲	آمل (آزمایش نمونه)



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲/۹۹	۲/۵۲	دشت نظیر (روابط)
۴/۸۸	۳/۴۴	دشت نظیر (آزمایش نمونه)



نمودار ۲: نتایج کلی مقاومت خمشی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ (بر حسب MPa)

مقایسه نتایج حاصل شده با استاندارد مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

طبق نتایج استاندارد و همچنین مقادیری که توسط روابط بدست آمده، نتایج آزمایش نمونه‌های خمشی در هر سه معدن و در هر دو سن ۷ و ۲۸ روزه مورد تایید قرار گرفته است. همانند نتایج نسبت آب به سیمان ۰/۵، نتایج معدن مرزن آباد ضعیف تر از دو معدن دیگر بوده است. همچنین اختلاف میان مقادیر بدست آمده توسط روابط و مقادیر آزمایش نمونه‌ها نشان از ضعف نتایج آزمایش مقاومت فشاری هر سه معدن دارد. نکته قابل توجه رشد ۲۷٪ مقاومت خمشی ۲۸ روزه معدن دشت نظیر نسبت به مقاومت خمشی ۷ روزه آن معدن می‌باشد که در نهایت منجر به بیشتر بودن مقاومت این معدن نسبت به معدن آمل در سن ۲۸ روزگی شده است.

جدول ۲: مقایسه مقاومت خمشی - نسبت آب به سیمان ۰/۴۷

سن نمونه		مقاومت خمشی MPa
۲۸ روزه	۷ روزه	
۳/۱۲	۲/۴۴	استاندارد



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲/۸۳	۲/۳۶	مرزن آباد (روابط)
۴/۱۸	۳/۵۳	مرزن آباد (آزمایش نمونه)
۳/۱۹	۲/۶۶	آمل (روابط)
۵/۰۱	۴/۳۷	آمل (آزمایش نمونه)
۳/۰۹	۲/۵۴	دشت نظیر (روابط)
۵/۰۸	۴	دشت نظیر (آزمایش نمونه)

بحث در نتایج حاصل شده از آزمایش مقاومت خمشی

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت خمشی هم مهر تأیید بر ضعف مصالح سنگی معدن مرزن آباد نسبت به دو معدن آمل و دشت نظیر بوده است. با این وجود تمامی نتایج بدست آمده در آزمایش مقاومت خمشی نمونه‌های هر سه معدن مورد تأیید بوده و توانسته است مقادیری بیشتری از مقادیر استاندارد موجود در مبحث نهم مقررات ملی را بدست آورد. در نسبت آب به سیمان ۰/۵، نمونه ۲۸ روزه معدن دشت نظیر با ۲۹/۵٪ رشد بیشترین افزایش را نسبت به دو معدن آمل و مرزن آباد که به ترتیب ۲۲/۲٪ و ۱۶/۹٪ افزایش داشته اند، نشان داده است. همچنین در نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ معادن دشت نظیر، مرزن آباد و آمل به ترتیب ۲۱/۳٪، ۱۵/۵٪ و ۱۲/۸٪ افزایش مقاومت خمشی در نمونه‌های ۲۸ روزه‌ی خود نسبت به نمونه‌های ۷ روزه داشته‌اند.

مقاومت کششی

در جداول ۳، ۴ و ۵ مقادیر مقاومت کششی نمونه‌ها در سن ۷ و ۲۸ روزه برای هر سه معدن و هر سه مقاومت مشخصه که به صورت تابعی از مقاومت فشاری نمونه‌ها محاسبه شده، نشان داده شده است. بدیهی است که تغییرات مقاومت کششی با افزایش مقاومت فشاری و ارتقاء کیفیت سنگدانه‌ی نمونه‌ها افزایش یابد. بدین ترتیب مقاومت کششی نمونه‌های معدن آمل دارای بیشترین مقاومت کششی بوده و بعد از آن معدن دشت نظیر و مرزن آباد جای دارند. فاصله‌ی مقاومت کششی نمونه‌های معدن مرزن آباد با دو معدن دیگر همچون مقاومت فشاری آن‌ها، بسیار می‌باشد که نشان از ضعف مقاومت مصالح این معدن بوده است.

جدول ۳: مقاومت کششی - مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال

سن نمونه	مقاومت کششی - مقاومت مشخصه ۲۵ MPa		
	استاندارد	مرزن آباد	آمل
۷ روزه	۲/۰۲	۲/۰۷	۲/۳۳
۲۸ روزه	۲/۵۶	۲/۴۷	۲/۶۹

جدول ۴: مقاومت کششی - مقاومت مشخصه ۳۰ مگاپاسکال

سن نمونه	مقاومت کششی - مقاومت مشخصه ۳۰ MPa		
	استاندارد	مرزن آباد	آمل
۷ روزه	۲/۲۱	۲/۱۳	۲/۳۹



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲/۷۸	۲/۸۷	۲/۵۵	۲/۸۰	۲۸ روزه
------	------	------	------	---------

جدول ۵: مقاومت کششی - مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال

سن نمونه	مقاومت کششی - مقاومت مشخصه ۳۵ MPa			
	استاندارد	مرزن آباد	آمل	دشت نظیر
۷ روزه	۲/۳۹	۲/۲۱	۲/۵۲	۲/۵۲
۲۸ روزه	۳/۰۳	۲/۶۵	۲/۹۱	۲/۹۴

مدول الاستیسیته

خصوصیات سنگدانه‌ها بر روی مدول الاستیسیته بتن موثر است. بطوریکه مدول الاستیسیته بتن متأثر از مدول الاستیسیته سنگدانه‌ها و نسبت حجمی آن‌ها در بتن می‌باشد. بنابراین هر چه مدول الاستیسیته سنگدانه‌ها بالاتر باشد، مدول الاستیسیته بتن هم بالاتر خواهد بود. در جداول ۶، ۷ و ۸ مدول الاستیسیته نمونه‌های بتنی هر سه مقاومت مشخصه بتن برای هر سه معدن در سن ۲۸ روزگی با استفاده از روابط مبحث نهم مقررات ملی نشان داده شده و با مقادیر استاندارد مقایسه شده است. از آنجاییکه مقادیر مدول الاستیسیته به صورت تابعی از مقاومت فشاری بدست آمده، لذا اختلاف مقادیر مدول الاستیسیته همچون مقادیر مقاومت فشاری هر مقاومت مشخصه و هر معدن می‌باشد. (Bungey, 2006)

جدول ۶: مدول الاستیسیته - مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال

معدن	استاندارد ۲۸ روزه	مدول الاستیسیته ۲۸ روزه
مرزن آباد	۲۲/۹۱	۲۲/۳۳
آمل	۲۳/۰۵	۲۴/۳۹
دشت نظیر	۲۳/۲۰	۲۴/۰۴

جدول ۷: مدول الاستیسیته - مقاومت مشخصه ۳۰ مگاپاسکال

معدن	استاندارد ۲۸ روزه	مدول الاستیسیته ۲۸ روزه
مرزن آباد	۲۴/۴۲	۲۲/۸۲
آمل	۲۴/۵۸	۲۴/۹۷
دشت نظیر	۲۴/۷۴	۲۴/۵۸

جدول ۸: مدول الاستیسیته - مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال

معدن	استاندارد ۲۸ روزه	مدول الاستیسیته ۲۸ روزه
مرزن آباد	۲۵/۸۲	۲۳/۴۶
آمل	۲۵/۹۹	۲۵/۲۵
دشت نظیر	۲۶/۱۵	۲۵/۶۰

بحث و نتیجه گیری



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

- ۱- با وجود تیز گوشه بودن مصالح ریز دانه معدن مرزن آباد، اما به دلیل گرد گوشه بودن نسبت بیشتری از مصالح درشت دانه این معدن، شاهد مقاومت خمشی کمتری بودیم.
- ۲- در پی مشاهدات از نمونه‌های شکسته شده معدن آمل، علاوه بر جداسدگی سنگدانه‌ها از خمیر سیمان، تعدادی از سنگدانه‌ها در اثر آزمایش شکسته شده که نشان از پیوستگی خوب و مطلوب دارد.
- ۳- نتایج و مشاهدات نمونه‌های معدن دشت نظیر همچون معدن آمل نشان دهنده جداسدگی تعدادی از سنگدانه‌ها از خمیر سیمان و شکستگی تعداد دیگری از سنگدانه‌ها بوده که نشان از پیوستگی مطلوب دارد.
- ۴- همچنین بررسی سنگدانه‌های درشت معدن دشت نظیر نشان دهنده وجود تعداد کمی از سنگدانه‌های درشت گرد گوشه بوده که باعث افزایش پیوستگی و چسبندگی سنگدانه‌ها و خمیر سیمان می‌باشد.
- ۵- با توجه به مقادیر مدول نرمی سنگدانه‌های معدن دشت نظیر درشت تر و خشن تر از دو معدن دیگر بوده اما این اختلاف به دلیل اصلاح دانه بندی محسوس نمی‌باشد.
- ۶- مقاومت بالای سنگدانه‌ها در کنار مقادیر مطلوب مدول الاستیسیته به علت تراکم پذیری، سبب ایجاد تنش کمتری در خمیر سیمان کرده است که موجب افزایش مقاومت خمشی نمونه‌های معدن آمل و دشت نظیر شده است.
- ۷- روند افزایش مقاومت خمشی نیز همانند مقاومت فشاری می‌باشد. شیب نمودار نقطه‌ای در بازه زمانی ۷ تا ۲۸ روز در هر سه مقاومت مشخصه برای معادن مرزن آباد و آمل یکسان بود اما برای معدن دشت نظیر در مقاومت مشخصه ۲۵ و ۳۰ مگاپاسکال شیب نمودار نسبت به دو معدن دیگر بیشتر می‌باشد.
- ۸- مقایسه مقادیر حاصل از آزمایش نمونه‌های خمشی و مقادیر بدست آمده از روابط تابع از مقاومت فشاری و مقایسه با استاندارد مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، نشان از تایید نتایج بدست آمده دارد.
- ۹- مقاومت کششی به صورت تابعی از مقاومت فشاری بتن محاسبه گردید و طی مقایسه انجام شده با مقادیر استاندارد، معدن مرزن آباد ضعیف ترین نتایج را بدست آورد. البته روند تغییرات در مقاومت کششی در سنین مختلف در هر سه معدن سیر منظمی داشت.

منابع

۱. مستوفی نژاد، داود، (۱۳۹۵)، تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، چاپ چهل و پنجم، اصفهان، انتشارات ارکان دانش
۲. سامع، سید علی، (۱۳۷۷)، کیفیت و طرح اختلاط بتن، اصفهان، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان
۳. نویل، (۱۳۷۵)، بتن شناسی (خواص بتن)، ترجمه‌ی هرمز فامیلی، تهران، نشر جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران
۴. دفتر مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۳)، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، چاپ سوم، تهران، نشر توسعه ایران
۵. آئین نامه بتن ایران (آبا)، نشریه شماره ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
۶. Kaplan MF., 1959, Flexural and compressive strength of concrete as affected by the properties of coarse aggregates, ACI Proc, 55(11): 1193-208
۷. Bungey, J. H., 2006, Testing of concrete in structures, Fourth Edition, Taylor & Francis, London and New York