مطالعه راه‌کارهای کاهش آثار منفی ناحیه انتقالی در بتن

■ مهندس جعفر شفقت

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران

■ دکتر علی اله‌وردی

استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده:

بتن از اختلاط آب، سیمان، سنگ‌دانه و احتمالاً برخی افزودنی‌ها تولید می‌شود. در فضای بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه، ناحیه‌ای با ویژگی‌های منحصربه‌فرد وجود دارد که به آن ناحیه انتقالی سطح مشترک می‌گویند. در این ناحیه انتقالی بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه، تخلخل بالایی نسبت به توده خمیر سیمان وجود دارد و دارای مواد چسباننده کمی است. همچنین این ناحیه موجب کاهش مقاومت فشاری و کششی بتن شده و با افزایش نفوذپذیری بتن، موجب آسیب‌پذیری آن در برابر کلرایدها، سولفات‌ها و دیگر عوامل خورنده می‌شود. لذا محققین در پی آن هستند که آثار منفی ناشی از ناحیه انتقالی را کاهش دهند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از افزودنی‌های معدنی در ابعاد ریز، می‌تواند به‌عنوان پرکننده و یا چسباننده، موجب بهبود خواص ناحیه انتقالی شود. از جمله این مواد می‌توان به دوده سیلیسی (میکروسیلیس)، نانوسیلیس، خاکستر پوسته برنج، متاکائولین، سرباره و ... اشاره کرد. نسبت آب به سیمان، الگوی اختلاط اجزای بتن، خصوصیات شیمیایی (جنس) سنگ‌دانه، خصوصیات فیزیکی سنگ‌دانه مانند زبری و اندازه از دیگر مواردی هستند که با تغییر آن‌ها می‌توان ویژگی‌های ناحیه انتقالی و درنهایت خواص بتن تولیدی را بهبود بخشید. در این مقاله نحوه بهینه‌سازی هر یک از این پارامترها بحث شده است.

کلمات کلیدی: اجزای بتن، ناحیه انتقالی سطح مشترک، آثار منفی ناحیه انتقالی، نسبت آب به سیمان

۱- مقدمه

در تولید بتن، سیمان، نقش چسباننده را بازی می‌کند، به‌طوری‌که با ترکیب آب و سیمان، خمیر سیمان حاصل می‌شود و خمیر سیمان همانند یک چسب، در میان سنگ‌دانه‌ها قرار گرفته و آن‌ها را به هم چسبانده و بتن را شکل می‌دهد. لذا از نظر فیزیکی بتن از دو قسمت عمده تشکیل شده است، سنگ‌دانه و خمیر سیمان.

اما وقتی ژاکوس فارن در سال ۱۹۵۶، بتن را مورد مطالعه قرار داد، از این حقیقت آگاه شد که در فضای بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه، ناحیه‌ای با ویژگی‌های منحصر به فرد وجود دارد. او دریافت که این ناحیه انتقالی[1] بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه،

1- Transition zone

تخلخل بالایی نسبت به توده خمیر سیمان دارد و همچنین از نظر مواد تشکیل دهنده نیز با خمیر سیمان و سنگ‌دانه تفاوت دارد[۱]؛ به‌طوریکه میزان اترینگایت و بلورهای هیدروکسید کلسیم در این ناحیه افزایش می‌یابد[۲].

وجود ناحیه انتقالی سبب ایجاد آثار منفی زیادی در بتن می‌شود؛ از جمله اینکه موجب کمبود مواد چسباننده و ازدیاد برخی مواد غیرچسبانند در ناحیه انتقالی می‌گردد. به‌عنوان مثال میزان بلورهای اترینگایت و هیدروکسید کلسیم که هیچ خاصیت چسبانندگی ندارند، در این ناحیه بیشتر از دیگر نواحی بتن است و در مقابل، مقدار ژل هیدرات سیلیکات کلسیم که یک ماده سیمانی بوده و در بتن خاصیت چسبانندگی دارد، در این ناحیه کمترین مقدار است[۳]. همچنین ناحیه انتقالی بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه، سبب افزایش تخلخل، کاهش مقاومت فشاری و مقاومت کششی[۴]، افزایش نفوذپذیری و به تبع آن افزایش آسیب‌پذیری بتن در برابر نفوذ سولفات‌ها، کلرایدها و درنهایت تخریب بتن می‌شود[۵]. به‌دلیل همین آثار منفی حدود شصت سال است که محققین در پی بهبود خواص منفی ناحیه انتقالی خمیر سیمان و سنگ‌دانه هستند و روش‌های مختلفی را برای نیل به این هدف به کار برده‌اند.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از دوده سیلیس (میکرو سیلیس) [۶و۷]، نانوسیلیس[۸]، خاکستر پوسته برنج[۱۱-۹]، متاکائولین[۱۴-۱۲]، سرباره[۱۳و۱۵] و ... در بهبود آثار منفی ناشی از ناحیه انتقالی موثر است. نسبت آب به سیمان[۱۸-۱۶و۹]، الگوی اختلاط اجزای بتن[۱۹]، خصوصیات شیمیایی (جنس) سنگ‌دانه[۲۳-۲۰]، خصوصیات فیزیکی سنگ‌دانه مانند زبری[۱۴و۲۴] و اندازه[۲۵و۱۸] از دیگر مواردی هستند که با تغییر آن‌ها می‌توان ویژگی‌های ناحیه انتقالی و در نهایت خواص بتن تولیدی را بهبود بخشید که در رابطه با نحوه بهینه‌سازی هر یک از این پارامترها، در این مقاله به طور مفصل بحث شده است.

علاوه بر موارد فوق نوع متراکم‌سازی بتن (اینکه بتن خود متراکم باشد و یا اینکه برای متراکم‌سازی آن از لرزش استفاده شود) نیز در خواص ناحیه انتقالی موثر است، به‌طوریکه در بتن خود متراکم، آثار منفی ناشی از ناحیه انتقالی کمتر است [۲۷-۲۶و۱۲]. در این مقاله راه‌کارهایی که محققین برای بهبود آثار منفی ناحیه انتقالی، ارائه کرده‌اند، به تفکیک تشریح و نتایج حاصله آن بررسی شده است.

۲- راهکارهای بهبود آثار منفی ناحیه انتقالی

گفتنی است از آنجایی که ناحیه انتقالی دارای تخلخل و نفوذپذیری بالا است و همچنین سبب کاهش مقاومت فشاری و کششی بتن می‌شود، درنتیجه محققین برای بررسی مفید بودن راه‌کارهای مورد مطالعه، از اندازه‌گیری مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذپذیری، مطالعه ریزساختار ناحیه انتقال و ... استفاده می‌کنند. به‌طوری‌که بهبود ویژگی‌های ناحیه انتقالی را با بهبود خواص فوق ارزیابی می‌کنند. در ادامه برخی از راه‌کارهای به‌کار گرفته شده تشریح می‌شود.

۲-۱- خصوصیات فیزیکی سنگ‌دانه

۲-۱-۱- زبری سطح سنگ‌دانه

طبق تحقیقات مهتاب پیشه‌ور (۱۳۹۰) سنگ‌دانه و خمیر سیمان به سه طریق با یکدیگر برهم‌کنش دارند[۱۴]:

الف- برهم کنش فیزیکی

این نوع برهم‌کنش برای سنگ‌دانه‌ها با سطح صیقلی (مانند کوارتز) و بدون واکنش شیمیایی با خمیر سیمان، به‌وجود خواهد آمد. در این صورت، قدرت پیوند ممکن است قابل صرف‌نظر باشد. در این برهم‌کنش، سطح مشترک خمیر سیمان- سنگ‌دانه، ضعیف‌ترین اتصال را در ناحیه ایجاد می‌کند.

ب- برهم‌کنش فیزیکی- شیمیایی

برای سنگ‌دانه‌هایی که با خمیر سیمان واکنش شیمیایی می‌دهند (مانند سنگ‌های کربنات)، شواهدی مبنی بر پیوند شیمیایی قوی بین سنگ‌دانه و خمیر سیمان وجود دارد که سبب تقویت پیوند می‌شود.

ج- اتصال مکانیکی

برای سنگ‌دانه‌ها با سطح زبر و یا سنگ‌دانه‌های متخلخل، خمیر سیمان یا محصولات هیدراسیون ممکن است به داخل فضاهای خالی یا منافذ بزرگ سطح سنگ‌دانه نفوذ کند و مانند قلاب‌های چندگانه سبب پیوند میان خمیر سیمان و سنگ‌دانه شود.

با توجه به انواع برهم‌کنش‌هایی که در بالا به آن اشاره شد، نتیجه می‌گیریم که هرچه سنگ‌دانه زبرتر باشد، موجب به‌هم چسبیدگی مکانیکی خمیر سیمان و سنگ‌دانه شده و درنتیجه پیوند خمیر سیمان و سنگ‌دانه محکم‌تر و خواص بتن تقویت می‌شود.

از طرفی سنگ‌دانه‌های سبک وزن[1]، از آنجا که سطح متخلخلی دارند، دارای سطوح زبرتری نسبت به سنگ‌دانه‌های معمولی هستند. لذا لو و سویی[2] (۲۰۰۳) با بررسی سطح

1- LWA (lightweight aggregate)
2- T.Y. Lo and H.Z. Cui

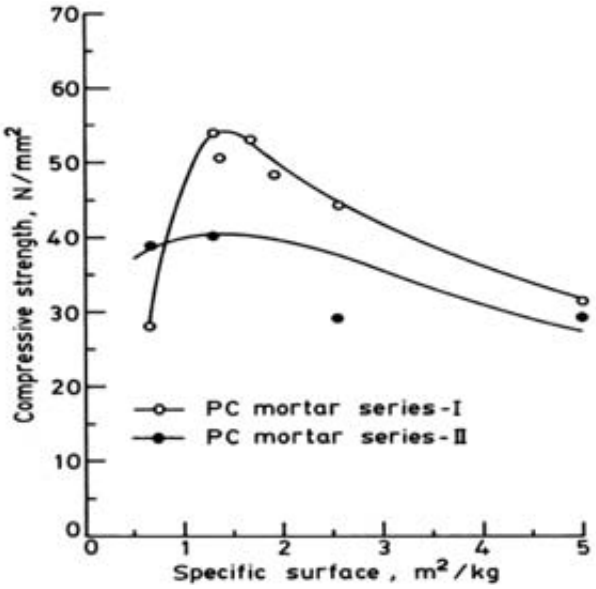
مشترک سنگ‌دانه سبک وزن و خمیر سیمان مشاهده کردند گرچه اثر دیواره در سطح سنگ‌دانه‌های معمولی در بتن وجود دارد و به ایجاد ناحیه انتقالی کمک می‌کند، اما در ناحیه سطح مشترک سنگ‌دانه سبک وزن اثر دیواره وجود ندارد. همچنین به‌دلیل به هم چسبیدگی خمیر سیمان در سطح زبر و متخلخل سنگ‌دانه‌ها، ناحیه انتقالی تقریباً ۱۰-۵ میکرون ضخامت دارد که بسیار کوچک‌تر از سنگ‌دانه‌های معمولی است. البته شبکه‌ای از اترینگایت به ضخامت ۱-۰/۳ میکرون، در سطح مشترک سنگ‌دانه سبک وزن احتمال دارد مقاومت بتن را تضعیف کند. به‌دلیل اینکه این شبکه بزرگ‌تر از فضاهای خالی مویین، اما کوچک‌تر از حباب‌های هوا در خمیر سیمان هستند[۱۴].

فاگرلوند[1] (۱۹۹۰) سطح مشترک میان سنگ‌دانه پومیس[2] و خمیر سیمان را بررسی کرده و بیان کرد که کیفیت خمیر سیمان در مجاورت سنگ‌دانه‌های سبک وزن، ممکن است به‌دلیل اثر فیلتراسیون بهبود یابد. اثر فیلتراسیون فقط اجازه ورود آب خمیر سیمان را به داخل سنگ‌دانه می‌دهد. این اثر یک لایه نسبتاً نفوذناپذیر پیرامون سنگ‌دانه سبک وزن ایجاد می‌کند که ورود آب ثانویه به داخل سنگ‌دانه را حداقل می‌نماید و درنتیجه سبب تقویت سطح مشترک می‌شود[۱۴].

۲-۱-۲- اندازه سنگ‌دانه

آزمایش‌های تجربی حاکی از این است که اندازه سنگ‌دانه مصرفی در بتن بر روی ناحیه انتقالی و از آن طریق بر روی خواص سیمان تأثیر می‌گذارد. جی آپارا[3] (۲۰۰۱) تأثیر اندازه و سطح ویژه سنگ‌دانه را بر روی ناحیه انتقالی و مقاومت فشاری سیمان بررسی کرد. او مشاهده کرد که در ابتدا با افزایش اندازه سنگ‌دانه و کاهش سطح ویژه، مقاومت فشاری ملات افزایش می‌یابد اما از یک نقطه به بعد هر چه اندازه سنگ‌دانه افزایش یابد، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. این حقیقت در شکل ۱ مشهود است.

در حقیقت با کاهش اندازه سنگ‌دانه، سطح مخصوص به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. درنتیجه این افزایش سطح مخصوص، سنگ‌دانه‌ها آب زیادی جذب می‌کنند و آب کافی برای انجام کامل واکنش هیدراسیون در اختیار چسباننده‌ها قرار نخواهد گرفت. همین امر سبب ضعیف شدن پیوند میان خمیر سیمان و سطح سنگ‌دانه می‌گردد. پس اندازه سنگ‌دانه‌ها نباید از یک حداقل کوچک‌تر باشد. از طرف دیگر اگر اندازه سنگ‌دانه زیاد افزایش یابد، سطح ویژه خیلی کم خواهد شد و



شکل ۱- تغییرات مقاومت فشاری با سطح ویژه سنگ‌دانه [۲۵]

در اطراف سنگ‌دانه آب اضافی تجمع می‌کند که همین مسئله سبب افزایش تخلخل و کاهش مقاومت فشاری می‌گردد. لذا اندازه سنگ‌دانه نباید خیلی بزرگ باشد و نه خیلی کوچک، بلکه باید بهینه انتخاب گردد[۲۵].

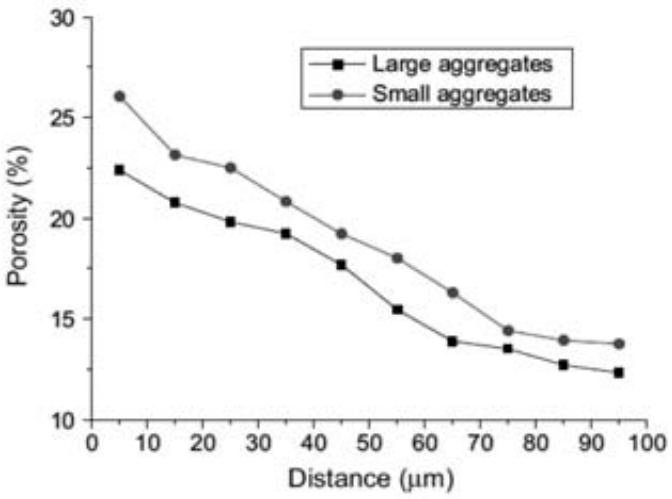
ایکسی[4] و همکارانش (۲۰۱۵) در یک سری مطالعات آزمایشگاهی، تأثیر اندازه سنگ‌دانه را بر روی خواص ناحیه انتقالی بررسی کردند. آن‌ها برای تولید بتن ابتدا آب و سیمان را مخلوط کرده و دوغاب تولید نمودند، سپس دوغاب را بر روی سنگ‌دانه ریختند. دوغاب در اثر نیروی وزن و به‌واسطه سیالیت بالا در منافذ میان سنگ‌دانه جاری شد و بتن را شکل داد. به بتن تولیدی از این روش بتن پرسنگ (RFC[5]) می‌گویند. بتن پرسنگ نوع جدیدی از بتن است که به‌طور عمده برای ساخت‌وساز بتن در مقیاس بزرگ توسعه یافته است. آن‌ها برای بررسی تأثیر اندازه سنگ‌دانه، از سنگ‌دانه‌های ریز و درشت استفاده کردند.

برای ارزیابی نتایج، با استفاده از روش BSE[6] تخلخل خمیر سیمان را برحسب فاصله از سطح سنگ‌دانه اندازه‌گیری کردند. نتایج حاکی از این بود که افزایش اندازه سنگ‌دانه موجب کاهش تخلخل و بهبود آثار منفی ناشی از ناحیه انتقالی می‌شود. نتیجه فوق در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است.

۲-۲- نوع متراکم سازی بتن

یکی از نقاط ضعف بتن‌های عادی (در مقابل بتن خودتراکم) آن است که این بتن‌ها دارای سیالیت زیاد نیستند. کمبود

1- Fagerlund
2- pumice
3- G. Apa Rao
4- Xie
5- Rock-filled concrete
6- Backscatter electron



شکل ۲- تخلخل بتن تولیدی از سنگ‌دانه بزرگ و کوچک برحسب فاصله از سطح سنگ‌دانه[۱۸]

جدول ۱ : تغییرات مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به سیمان[۹]

نسبت آب به سیمان	مقاومت فشاری (MPa)				
	۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	۹۰ روز
۰/۳	۲۲	۴۳/۵	۵۳/۶	۶۳/۵	۷۱/۷
۰/۳۲	۲۰/۹	۴۱/۳	۵۱	۵۹/۶	۶۶/۸
۰/۳۴	۱۸/۹	۳۹/۹	۴۹/۸	۵۷/۹	۶۴/۹

سیالیت باعث می‌شود که بتن در مناطق محدود و مناطقی که دارای تراکم آرماتور باشند به‌خوبی نفوذ نکرده و بتن پوک یا کرمو شود. در حدود سال ۱۹۸۸ در ژاپن برای اولین بار بتنی تولید شد که این نقیصه به‌طور کلی درآن از بین رفته بود. این بتن که دارای سیالیت فوق‌العاده بالا است را بتن خودتراکم نامیدند. سه معیار به‌منظور ایجاد خاصیت خود تراکمی در بتن‌های خود تراکم وجود دارد که عبارتند از: شکل‌پذیری بالا، توانایی عبور کنندگی و مقاومت زیاد در برابر جداشدگی[۲۶].

لیمن و همکارانش (۲۰۰۶) اثر متراکم‌سازی را بر روی خواص ناحیه انتقالی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای این کار از یک بتن خودتراکم (SCC[1]) و دو بتن معمولی استفاده نمودند. مطالعه ریزساختار بتن‌های تولیدی، به‌وضوح کاهش تخلخل و عرض ناحیه انتقالی را در بتن خود تراکم نسبت به بتن معمولی نشان داد[۱۲].

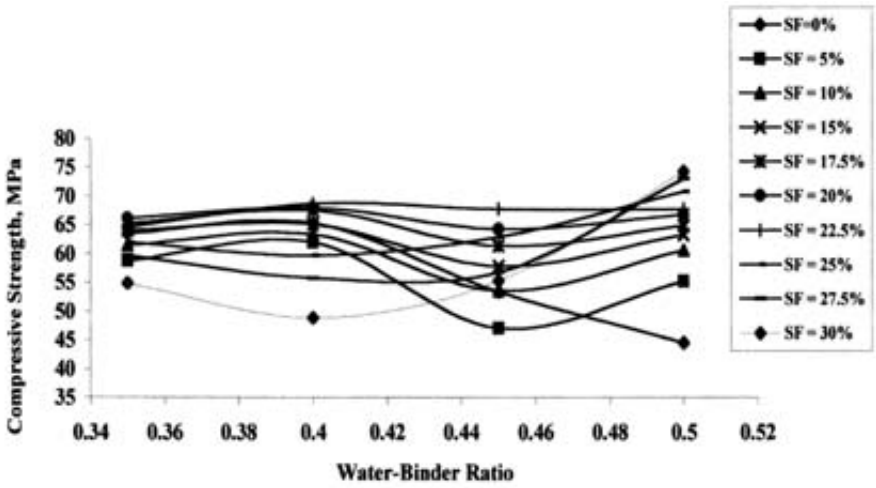
دمی[2] و همکارانش (۲۰۱۳) برای تولید بتن خودتراکم از فوق‌روان‌کننده[3] با درصدهای مختلف (۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ درصد) استفاده کردند. نمونه‌های بتنی با درصدهای مختلف فوق‌روان‌کننده، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ °C عمل‌آوری شدند. با استفاده از FESEM[4] ساختار ناحیه انتقالی را مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده نمودند با افزایش درصد فوق‌روان‌کننده، خواص ناحیه انتقالی به میزان بیشتری بهبود می‌یابد[۲۷].

۲-۳- نسبت آب به سیمان

طبق گزارش کوری و شینها (۱۹۸۱) موثرترین فاکتور برای بهبود مقاومت فشاری بتن، نسبت آب به سیمان است. قانون آبرام، اهمیت نسبت آب به سیمان را در مقاومت فشاری بتن بیان می‌کند. بر طبق این قانون، میان مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان یک رابطه معکوس وجود دارد[۱۷].

بیو و همکارانش (۲۰۰۵) با تغییر نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری بتن تولیدی را اندازه گرفتند. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، بتن مورد آزمایش از قانون آبرام پیروی می‌کند. به این معنی که با افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. البته گفتنی است قانون آبرام همواره صادق نیست[۹].

1- self-compacting concrete
2- Demi
3- superplasticizer
4- Field emission scanning electron microscope



شکل ۳- تغییرات مقاومت فشاری ملات با نسبت آب به سیمان بعد از ۹۰ روز و با افزودن دوده سیلیسی در درصدهای مختلف[۱۷]

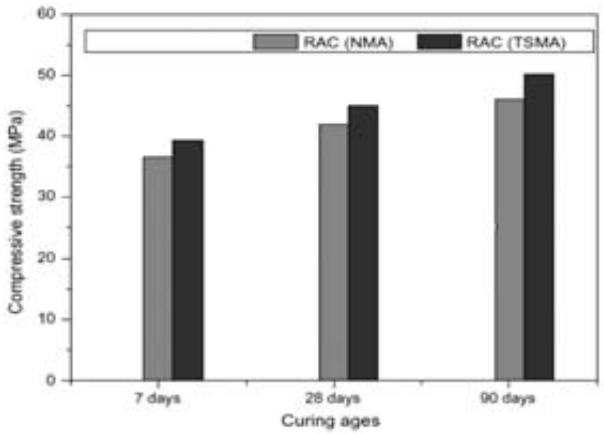
جـی آپـارا (۲۰۰۱) تأثیـر نسـبت آب به چسـباننده را بر روی مقاومت فشـاری بررسـی کرد. او برای این کار نسـبت آب به چسـباننده را از ۰/۳۵ تـا ۰/۵ تغییـر داد. همچنین از دوده سیلیسـی[1] با درصدهای وزنی مختلف (صفر تا ۳۰ درصد) برای تولید بتن استفاده نمود. در ادامه مقاومت فشاری نمونه‌ها را بعد از ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز اندازه گرفت. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در تمام نسبت‌های آب به چسباننده، قانون آبرام صادق نیست. همچنین طبق شکل ۳ نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ بدترین نسـبت و ۰/۴ و ۰/۵ بهترین نسـبت می‌باشد. همچنین شـکل ۳ نشـان می‌دهد که بـا افزایش درصد دوده سیلیسـی، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.

ایکسی و همکارانش (۲۰۱۲) تأثیر نسبت آب به سیمان را بر روی ناحیه انتقالی بررسـی کردند. آن‌ها برای انجام آزمایش از بتن پرسنگ اسـتفاده کردند و برای بررسی تأثیر نسبت آب به سـیمان، از بتن با نسـبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵ استفاده نمودند. در ادامه برای ارزیابی نتایج، با استفاده از روش (BSE)، تخلخل خمیر سـیمان را برحسـب فاصله از سـطح سنگ‌دانه اندازه‌گیـری کردند. آن‌هـا نتیجه گرفتند که کاهش نسـبت آب به سـیمان از ۰/۵ به ۰/۴، سـبب کاهـش زیاد در تخلخل می‌شود[۱۸].

۲-٤- نحوه اختلاط اجزای بتن

لی[2] و همکارانش (۲۰۱۲) نشـان دادنـد که نحوه اختلاط اجزای بتن، بر روی تخلخل و مقاومت فشـاری و خواص ناحیه انتقالی موثر است. آن‌ها در آزمایش خود از دو روش اختلاط با نام‌های (NMA[3] و TSMA[4]) استفاده کردند. همچنین از دو نوع سـنگ‌دانه یکی شن و دیگری سـنگ‌دانه‌های درشت بازیافتی (RCA[5]) استفاده نمودند.

با رویکرد اختلاطی TSMA، ابتدا سـنگ‌دانه‌های درشـت بازیافتی و سـیمان برای یک دقیقه مخلوط شد. سپس نیمی از آب مورد نیاز، به مخلوط اضافه شده و یک دقیقه دیگر اختلاط صـورت گرفت. درنهایت شـن و آب باقیمانده به مخلوط اضافه شـد و به مدت دو دقیقه مخلوط شدند. طبق شکل ۴ بررسی‌ها نشـان داد که مقاومت فشاری بتن با رویکرد TSMA، بیشتر از بتن معمولی بوده است.



شکل ۴- تأثیر نحوه اختلاط اجزای بتن بر مقاومت فشاری[۱۹]

۲-۵- جنس سنگ‌دانه

تحقیقـات متعـدد نشـان داده اسـت که بـا تغییر جنس سـنگ‌دانه ویژگی‌هـای ناحیه انتقال و به تبـع آن خواص بتن دسـتخوش تغییر می‌شـود. درحقیقت برخی سـنگ‌دانه‌ها از نظر شیمیایی بسـیار فعال می‌باشند و با خمیر سیمان واکنش می‌دهند. درنتیجه، تغییر جنس و یا به‌عبارتی ترکیب شیمیایی

1- Silica fume
2- Li
3- Normal Mixing Approach
4- Two-Stage Mixing Approach
5- Recycled coarse aggregate

سنگ‌دانه، موجب تغییر در واکنش‌های میان خمیر سیمان و سنگ‌دانه شده و خواص ناحیه انتقالی را به نوبه خودکنترل می‌کند.

حسن نژاد و برنجیان (۲۰۱۳) تأثیر جنس سنگ‌دانه را بر روی خواص بتن مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها برای این کار از چهار سنگ‌دانه آهکی، سیلیسی، دولومیتی و گرانیتی برای بررسی تأثیر جنس سنگ‌دانه بر خواص ناحیه انتقال استفاده کردند. سپس از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[1]) برای مطالعه ریزساختار ناحیه انتقال بهره بردند. درنهایت با اندازه‌گیری مقاومت فشاری نتیجه گرفتند که سنگ‌دانه‌های گرانیتی بیشترین مقاومت فشاری را در سن ۲۸ روزه کسب کردند، درحالی‌که در سن ۹۰ روزه بتن تولیدی از سنگ‌دانه‌های سیلیسی، بیشترین مقاومت را از خود نشان داد. این امر را می‌توان به روند رو به رشد هیدراسیون خمیر سیمان و واکنش‌های بین سنگ‌دانه و خمیر سیمان و درنتیجه متراکم‌تر شدن بتن در گذر زمان نسبت داد[۲۰].

بیشار[2] و همکارانش (۲۰۰۳) تأثیر چهار نوع سنگ‌دانه را بر مقاومت فشاری بتن بررسی کردند. سنگ‌دانه‌های مورد آزمایش، سرباره فولاد، کوارتزیت، دلومیت و مصالح آهکی بود. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، بر اساس آزمایش‌های آن‌ها جنس و مقاومت سنگ‌دانه تأثیر به‌سزایی در مقاومت فشاری بتن دارد و سرباره فولاد بیشترین و سنگ‌دانه آهکی کمترین اثر را برای بهبود خواص بتن دارد.

آیتسن و مهتا (۱۹۹۰) چهار نوع مصالح سنگی از جنس سیلیس، دیاباز، سنگ آهک و گرانیت را برای تولید بتن به کار بردند. آن‌ها مشاهده کردند که مصالح گرانیتی و دیاباز بیشترین مقاومت فشاری را به بتن دادند. با توجه به اینکه طرح اختلاط تمام بتن‌ها مشابه بود، آن‌ها نتیجه گرفتند که این تفاوت در مقاومت فشاری به نوع سنگ‌دانه مصرفی مربوط است.

دونزا[3] و همکارانش (۲۰۰۲) از چهار نوع سنگ‌دانه برای بررسی تأثیر جنس سنگ‌دانه بر روی خواص ناحیه انتقالی استفاده نمودند. سنگ‌دانه‌ها عبارت بودند از: گرانیت، دلومیت، سنگ آهک و ماسه معمولی. آزمایش بر روی مقاومت فشاری بتن‌های تولیدی نشان داد که سنگ‌دانه آهکی اگرچه از ماسه معمولی بهتر عمل می‌کند، اما از گرانیت و دلومیت پیشی نمی‌گیرد و گرانیت بیشترین مقاومت فشاری را به وجود می‌آورد.

۲-۶- اضافه کردن افزودنی‌های معدنی

اکثر افزودنی‌های معدنی را ابتدا آسیاب می‌کنند و پس آن را برای تولید بتن به کار می‌برند. این مواد از دو طریق می‌توانند ویژگی‌های ناحیه انتقالی را بهبود بخشند: اول اینکه موادی همچون خاکستر پوسته برنج، سرباره، دوده سیلیسی، نانو سیلیکا، متاکائولین و ... می‌توانند وارد واکنش شوند و به‌عنوان یک چسباننده عمل کنند. دوم اینکه افزودنی‌های معدنی را می‌توان در آسیاب از سیمان هم ریزتر کرد. در آن صورت همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، این مواد به عنوان ذرات مافوق ریز[4]، تخلخل ناحیه انتقالی را کم می‌کنند.

۳- نتیجه‌گیری

ناحیه انتقالی میان سطح مشترک خمیر سیمان و سنگ‌دانه، ضعیف‌ترین ناحیه در بتن است که تخلخل بالایی دارد. همین تخلخل بالا سبب کاهش مقاومت فشاری و کششی شده و همچنین با افزایش نفوذپذیری بتن، موجب می‌شود بتن‌هایی که در محیط‌های مهاجم قرار دارند، در برابر حمله کلرایدها، سولفات‌ها و ... آسیب‌پذیرتر شوند. برخی از راه‌کارهای بهبود آثار منفی ناحیه انتقالی عبارتند از:

۱- استفاده از سنگ‌دانه‌های زبر

۲- استفاده از سنگ‌دانه با اندازه بهینه

۳- به‌کار بردن فوق‌روان‌کننده و تولید بتن خودتراکم

۴- بهره‌گیری از روش‌های بهینه برای اختلاط آب، سیمان و سنگ‌دانه

۵- کاهش میزان آب مصرفی و تنظیم نسبت آب به چسباننده

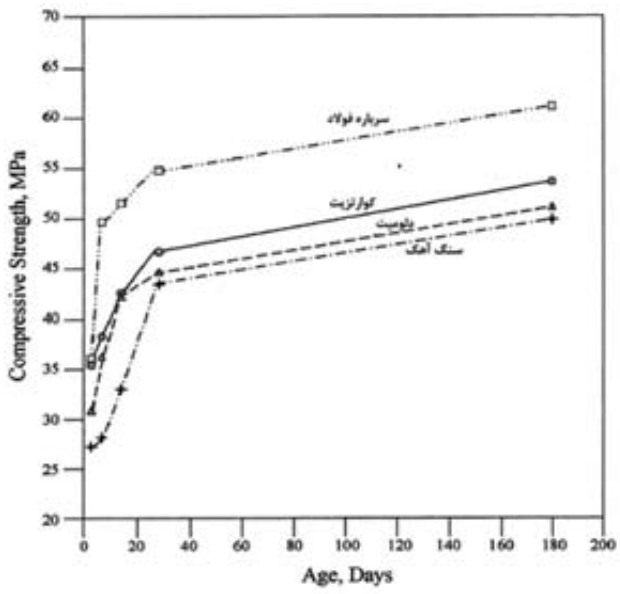
۶- تغییر جنس سنگ‌دانه و استفاده از سنگ‌دانه‌های واکنش‌پذیر

۷- به‌کارگیری مواد پوزولانی

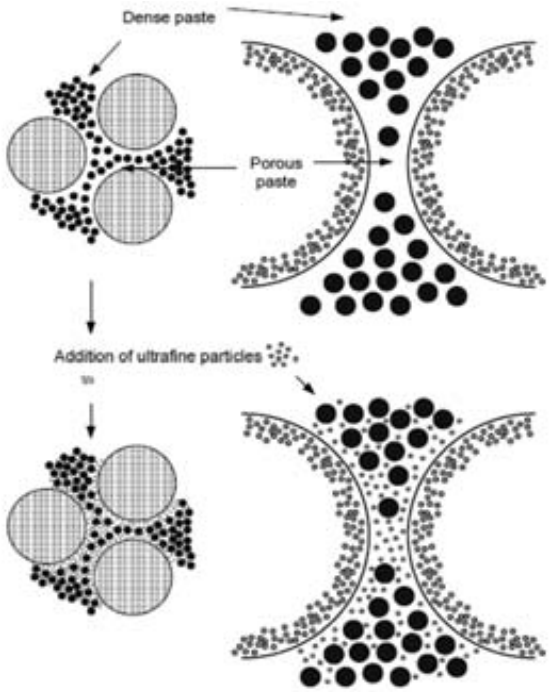
منابع:

1- L. Jiang, The interfacial zone and bond strength between aggregate and cement pastes incorporating high volumes of fly ash, Cement and concrete composites 21 (1999) 313 – 316.

1- Scanning Electron Microscope
2- Beshr
3- Donza
4- Ultrafine particles



شکل ۵- تغییرات مقاومت فشاری بتن با سنگ‌دانه‌های مختلف[۲۱]



شکل ۶- ذرات مافوق ریز در نقش پرکننده تخلخل در ناحیه انتقالی[۲]

2- C. Vogt, Ultrafine particles in concrete, Doctoral Thesis, school of Architecture and the Built, Sweden, (2010)

3- D.Bentz, A three – dimensional cement hidration and Microstructure program. I. Hydration rate, Heat of hydration and chemical shrinkage, NISTIR 5756, U.S. Department of commerce, (1995).

4- M. Lutz, P. Monteirol, R.Zimmermanz, Inhomogeneous interfacial transition zone model for the bulk modulus of mortar, Cement and concrete research, 27 (1997) 1113-1122.

5- S. W. Ziegeldorf, H.Hilsdorf, A reply to the discussion, of the paper, A review of the cemente – aggregate bond,, Cement and concrete research, 10 (1980) 277 – 286.

6- V. Sata, C. Jaturapitakkomol, K. Kiattikomol, Influence of pozzolan from various by-product material on mechanical properties of high-strength concrete, Concrete and building, 21 (2007) 1589-1598.

7- M. Cohen, A. Goldman, W. Chen, The role ofof silica fume in mortar: transition zone versus bulk paste modification, Cement and concrete resarch, 24 (1997) 95-98.

8- M.Nili, A.Ehsan, Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume , Materials and Design, 75 (2015) 174–183.

9- D. Bui, J. Hu, P. Stroeven, Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete, Cement and concrete composites, 27 (2005) 357–366.

10- H. Chao-Lung, B. Anh-Tuan, C. Chun-Tsun, Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete, Construction and building materials, 25 (2011) 3768–3772.

11- A. Givi a, S. Rashid, F. Aziz, M.Salleh, Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete, Construction and building materials, 24 (2010) 2145–2150.

12- A. Lehmann, B. Munch, P.Gasser, L.Holzer, Influence of compaction on the interfacial transition zone and the permeability of concrete, Cement and concrete research 36 (2006) 1425 – 1433.

13- P.Duan, Z. Shui, W. Chen, C. Shen , Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete, Construction and building materials 44 (2013) 1–6.

۱۴- مهتاب پیشه‌ور، مطالعه تأثیر ناحیه انتقالی سطح مشترک سنگ‌دانه و خمیر سیمان در خواص کیفی بتن، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران،

دانشکده مهندسی شیمی، اســتاد راهنما دکتر علی الهوردی، مهر ۱۳۹۰.

15- G. Schutter, L. Taerwe, General hydration model for Portland cement and blast furnace slag cement, Cement and Concrete Research, 25 (1995) 593-604

16- D. Currie, B. Sinha, Survey of Scottish sands and their characteristicswhich affect mortar strength, Chem. Ind., 19 (1981) 631 -645.

17- G. Rao, Role of water-binder ratio on the strength development in mortar incorporated with silica fume, Cement and concrete research 31 (2001) 443-447.

18- Y. Xie, D. Corr, F. Jin, H. Zhou, S. Shah, Experimental study of the interfacial transition zone (ITZ) of model rock-filled concrete (RFC), Cement and concrete composites 55 (2015) 223–231.

19- W. Li, J. Xiao, Z. Sun, S. Kawashima, S. Shah, Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches, Construction and building materials 35 (2012) 1045–1055.

۲۰- «بررسی اثر جنس سنگ‌دانه بر سرعت امواج فراصوت و ریزســاختار و ناحیه انتقال بتن مقاومت بالا»، مرتضی حسن نژاد و جواد برنجیان، ۱۳۹۲، مجله تحقیقات بتن.

21- B.Almusallam ,M. Maslehuddin. Effect ofcoarse aggregate quality on the mechanical properties ofhigh strength oncrete.Construction and buildingmaterials, 17 (2003) 97-103.

22- A. Metha, Effect of coarseaggregate characteristics on mechanical properties of high-strength concrete, ACI-Mater, 87 (1990) 103-107.

23- D. Cabrera, E.Irassar, High-strengthconcrete with different fine aggregate, Cement andconcrete research 32 (2002) 97-104.

24- M. Zhang, O.Gjcrv, Microstructure of the interfacial transition zone between lightweight aggregate and cement paste, Cement and concrete research, 20(1990) Printed in the USA.

25- G. Rao, Influence of silica fume on long-term strength of mortars containing different aggregate fractions, Cement and Concrete Research 31 (2001) 7-12.

26- G. Schutter, J. Gibbs, P. Domone, P. Bartos, self-compacting concrete, Whittles Publishing, 2008

27- S. Demie, M. Nuruddin, N.Shafi, Effects of micro-structure characteristics of interfacial transition zone on the compressive strength of self-compacting geopolymer concrete, Construction and building materials 41 (2013) 91–98.

دعوت به همکاری

ماهنامــه علمی تخصصی فن‌آوری ســیمان از علاقمنــدان به تهیه و چاپ مقالات علمــی، تخصصی و کاربردی مرتبط دعوت به همکاری می‌نماید:

- علاقمندان گرامی می‌توانند فایل تایپ شده مقاله خود را به آدرس ایمیل: cement_technology@yahoo.com ارسال فرمایند. برای هرگونه پیگیری و هماهنگی لازم، شماره تلفن‌های ۲۲۸۶۱۳۴۳-۲۲۸۸۳۳۰۶-۰۲۱ در خدمت شماست.

- لطفاً در صــورت نیــاز بــه اطلاعاتــی در خصــوص اصــول مقاله نویســی به ســایت ماهنامه فن‌اوری ســیمان بــه آدرس: www.cementechnology.ir مراجعه فرمائید.

- به‌منظور بهره‌گیری بهتر و بیشتر از پتانسیل نشر در صنعت سیمان، لازم است مقالات ارسالی به این نشریه به سایر نشریات مرتبط جهت چاپ ارسال نگردد.

- درصورتــی کــه قصد ترجمه مقالات تخصصی خارجی را دارید، لطفاً به‌منظور اجتناب از دوباره‌کاری با دفتر این نشــریه هماهنگ فرمائید.

- ویژگی اصلی و اساســی یک نشــریه تخصصی دارا بودن کادری متخصص و کارشــناس در حوزه مرتبط می‌باشد. در این راســتا کارشناســان زبده‌ای در حوزه‌های مختلف تخصصی مرتبط با صنعت ســیمان و صنایع معدنی با این نشــریه همکاری می‌نمایند که آماده پاســخگویی به ســوالات مخاطبین محتــرم و همکاری‌های علمی، علی‌الخصــوص در حوزه فعالیت‌های تحقیقاتی و نگارش مقالات می‌باشند.

امید است با همکاری کارشناسان اهل قلم و متخصصین کارآشنای صنعت و محققین توانمند بتوانیم بیش از پیش در زمینه اطلاع‌رسانی تخصصی و دانش‌افزایی در این صنعت گام برداریم.