

مروری بر روش های کاهش آب شستگی در بتن، مواد افزودنی ضد آب شستگی (AWA) و تأثیر آنها بر رفتار بتن

محسن تدین^۱، نوید نیکزاد^{۲*}

۱- رئیس هیات مدیره انجمن بتن ایران و مهندسین مشاور سیناب غرب

۲- کارشناسی ارشد عمران - ژئوتکنیک، مهندسین مشاور سیناب غرب

*navidnikzad69@yahoo.com

چکیده

بتن ریزی زیر سطح آب در سازه هایی مانند اسکله ها، پل ها، شمع ها در مناطقی که سطح آب زیر زمینی بالا است و گروت پرکننده در تونل ها که زیر سطح آب هستند، کاربرد دارد. جداسازی (آب شستگی) در اثر بتن ریزی در زیر سطح آب موضوع مهمی است که تحقیقات گسترده ای برای ارزیابی همه جوانب موثر بر آن مورد نیاز است. اگرچه مدت زیادی از استفاده از بتن ریزی زیر سطح آب می گذرد ولی تا به حال بیشتر تلاش ها در راستای بهبود جاذبه بتن زیر آب و پیشرفت در ماشین آلات در این راستا بوده است. در روش های اولیه تلاش این بوده که تماس بتن با آب را کم کنند و با اینکار جداسازی و آب شستگی بتن را کم نمایند. باید توجه شود که یک روش دیگر در موضوع بتن ریزی زیر آب آن است که با تغییراتی که در طرح اختلاط بتن ایجاد می شود، پایداری لازم جهت جلوگیری از آب شستگی و جداسازی آن در هنگام بتن ریزی زیر آب فراهم گردد. در اصطلاح به این بتن "بتن ضد آب شستگی (Anti Washout Concrete)" گفته می شود. در بحث اجرای بتن ضد آب شستگی می توان از ماشین آلات و روش های قدیمی جهت بتن ریزی زیر آب استفاده نمود. مزیتی که بتن ضد آب شستگی دارد این است که علاوه بر تضمین رفتار بهتر سازه ای بتن سخت شده در زیر سطح آب، می تواند کمک به کم کردن آلودگی محیط زیستی در هنگام بتن ریزی زیر سطح آب باشد. از جمله راهکارهای افزایش پایداری بتن در برابر آب شستگی و جدا شدگی زیر آب می توان به افزایش سیمان و جایگزینی یا افزودن مواد پودری مانند بنتونیت، پودر سنگ آهک، میکروسیلیس و خاکستر بادی، افزایش سهم ریزدانه بتن، استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی (Anti Washout Admixture یا AWA) را نام برد. در این مقاله سعی شده است ابتدا راهکارهای کاهش آب شستگی مرور گردد سپس مواد AWA و اثر آنها بر رفتار بتن توضیح داده شود.

کلمات کلیدی: بتن ریزی زیر سطح آب، بتن ضد آب شستگی، مواد افزودنی ضد آب شستگی AWA

۱. مقدمه

اگرچه مدت زیادی است که از بتن ریزی زیر سطح آب استفاده می گردد ولی پیشرفت ها غالباً در زمینه نحوه جایدگی بتن و ماشین آلات مخصوص این کار بوده است. در این خصوص هدف اصلی تلاش هایی که انجام شده کاهش تماس بتن با آب بوده تا از جداسازی بتن در آب جلوگیری گردد. از جمله روش های اجرایی جهت بتن ریزی زیر سطح آب می توان به روش بتن پیش آکنده (preplaced aggregate concrete method)، روش قیف و لوله (tremie method)، روش پمپ بتن (pumped concrete method) اشاره نمود.

در زمینه بتن ریزی زیر سطح آب راهکار دیگر آن است که خواص بتن تازه طوری طراحی گردد که در مقابل آب شستگی پایداری بیشتری از خود نشان دهد. در این روش هدف اصلی بهبود خواص بتن می باشد. در این خصوص لازم است آزمایش هایی انجام شود تا از نحوه عملکرد بتن در زیر آب چه در حالت تازه و چه در حالت سخت شده اطمینان حاصل گردد. مزیت این کار علاوه بر تضمین رفتار بهتر سازه ای بتن سخت شده در زیر سطح آب، می تواند کمک به کم کردن آلودگی محیط زیستی در هنگام بتن ریزی زیر سطح آب باشد. علاوه بر این می توان از روش های اولیه قیف و لوله یا بتن پمپی نیز جهت جایدگی این بتن ها استفاده نمود. در اصطلاح به این بتن "بتن ضد آب شستگی (Anti washout concrete)" گفته می شود.

برخی محققین راهکارهایی جهت کاهش آب شستگی را پیشنهاد داده اند. بهبود پایداری مخلوط تازه بتن در برابر آب شستگی، در محل هایی که مقاومت زیاد، دوام و چسبندگی بتن به آرماتور مورد نیاز باشد، در بتن ریزی زیر سطح آب یک مزیت حساب می شود (Khayat 1991) [۱]. همچنین محققین مختلف موضوع آب شستگی بتن را بررسی نموده و توصیه هایی در خصوص کاهش این پدیده در بتن ارائه داده اند از جمله می توان به افزایش عیار سیمان پرتلند و سایر مواد سیمانی، افزودن میکروسیلیس، بنتونیت و پودر سنگ آهک و همچنین افزایش سهم ریزدانه در بتن اشاره نمود. در این موضوع استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی (Anti washout Admixture یا AWA) یک راهکار می باشد. در این مقاله ابتدا معیارهای ارائه شده برای بتن ریزی زیر آب بیان شده و سپس راهکارهای کاهش آب شستگی مرور شده است، سپس مواد AWA و اثر آنها بر رفتار بتن توضیح داده شود.

۲. معیارها و مشخصات بتن در بتن ریزی زیر سطح آب

در توصیه نامه طراحی و ساخت بتن ضد آب شستگی در زیر سطح آب [۲] معیارهایی در این زمینه ارائه شده است برخی از این معیارها عبارتند از:

- نسبت مقاومت زیر آب به مقاومت در هوا برای بتن با مشخصات مناسب ضد آب شستگی بطور کلی بالاتر از ۰/۷۰ می باشد. جایی که بتن با کیفیت بالاتر مد نظر باشد (مانند بتن مسلح) انتظار می رود از نسبت های مقاومتی بالاتر استفاده گردد.
- حداکثر نسبت آب به سیمان در این بتن برای بتن های غیر مسلح در آب شیرین و دریا به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۶۰ و برای بتن های مسلح در آب شیرین و آب دریا به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۵ می باشد.
- درصد هوای بتن باید کمتر از ۴ درصد باشد.
- در مواقعی که از بتن ضد آب شستگی به جهت کنترل آلودگی آب استفاده می شود، باید مقدار آزمایش تعیین جامد معلق و PH نیز علاوه بر آزمایش های مقاومت انجام شود و این اطمینان حاصل شود که در اثر بتن ریزی کیفیت آب منطقه از حد استاندارد فراتر نرود.

مشخصات بتن ساخته شده با استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی برای بتن ریزی در زیر آب براساس مرجع ژاپنی [۳] در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱- مشخصات بتن ساخته شده با استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی برای بتن ریزی در زیر آب [۳]

مورد	نوع دیرگیر کننده	نوع استاندارد
آب اندازی	حداکثر ۰/۰۱	حداکثر ۰/۰۱
درصد هوا بتن	حداکثر ۴/۵	حداکثر ۴/۵
کاهش جریان اسلامپ (سانتیمتر)	کمتر از ۳/۰ (بعد از ۲ ساعت)	حداکثر ۳/۰ (بعد از ۳۰ دقیقه)
زمان گیرش اولیه (ساعت)	بیشتر از ۱۸	بیشتر از ۵
زمان گیرش نهایی (ساعت)	حداکثر ۴۸	حداکثر ۲۴
مقاومت فشاری نمونه ساخته شده زیر آب (kg/cm^2)	۷ روزه	حداقل ۱۵۰
	۲۸ روزه	حداقل ۲۵۰
نسبت مقاومت فشاری نمونه ساخته شده زیر آب به نمونه ساخته شده در هوا (%)	۷ روزه	حداقل ۸۰
	۲۸ روزه	بیشتر از ۸۰
آزمایش سقوط در آب	جامد معلق (mg/l)	حداکثر ۵۰
	PH	کمتر از ۱۲/۰

برخی از محققین معتقد هستند که بررسی مقاومت بتن ریزی های زیر سطح آب با استفاده از نمونه بتن های تازه بعد از آزمایش های پایداری در برابر آب شستگی، و مقایسه آنها نسبت به مقاومت نمونه های گرفته شده در هوا می تواند رابطه بهتری بین مقاومت بتن و میزان آب شستگی آن داشته باشد. [۴] از این رو پارامتری به نام مقاومت پسماند را طبق رابطه زیر معرفی کرده اند:

Residual Strength: (مقاومت پسماند)

$$1 - \frac{(\text{reference strength} - \text{strength after washout})}{\text{reference strength}} \times 100 \quad (3)$$

که در آن :

Reference strength: مقاومت نمونه بتن در هوا:

Strength after washout: مقاومت نمونه بتنی که مورد آزمایش آب شستگی قرار گرفته است:

در رابطه با این پارامتر بیان شده که برای اهداف بتن ریزی به روش ترمی، بتنی باید ساخته شود که مقاومت پسماند آن حداقل ۸۰ تا ۹۰ درصد نسبت به مقاومت نمونه گرفته شده در هوا باشد. [۵]

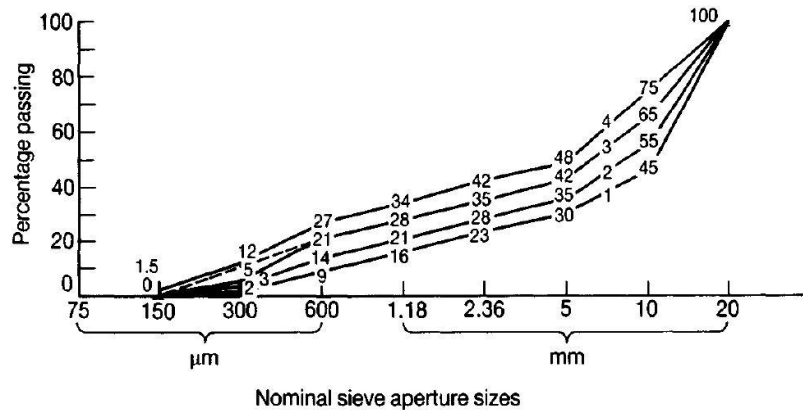
با توجه به محدودیت ارائه شده برای مقاومت، می توان محدودیت آب شستگی در آزمایش تعیین پایداری بتن تازه در برابر آب شستگی (CRD-C61) و آزمایش کاهش وزن در مخزن آب تحت فشار را با استفاده از رابطه نتایج این آزمایش ها با نتایج مقاومتی پسماند، بدست آورد. [۹ و ۴]

- مزایای استفاده از بتن ضد آب شستگی در زیر سطح آب عبارتند از: [۶]
- ۱- در مقایسه با بتن معمولی در برابر آب شستگی پایدار هستند و به ندرت دچار جداسازی می گردند حتی وقتی که زیر آب ریخته می شوند.
 - ۲- تنش جاری شدن کم و ویسکوزیته بالا دارند بنابراین اجزا بتن هرگز از هم جدا نشده و سیالیت بالایی از خود نشان می دهد.
 - ۳- در نتیجه سیالیت بالا خاصیت پر شدن و خود تراکم بودن بالایی دارند.
 - ۴- همچنین آب اندازی در آنها اتفاق نمی افتد.
- این مشخصات در کارهایی که قابلیت اطمینان بالایی نیاز دارند، در محل هایی که آب جریان دارد، در جایی که کدورت و کیفیت آب منطقه به لحاظ زیست محیطی مورد توجه است و نیز در کارهایی که در یک مساحت بزرگ گسترده شده و سطح صافی مد نظر است، یک مزیت به حساب می آیند. [۶]

۳. راهکارهای کاهش آب شستگی در بتن

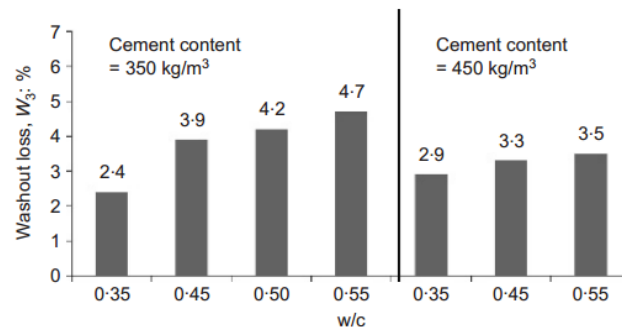
در هنگام بتن ریزی زیر سطح آب اگر هیچ گونه اقدامی صورت نگیرد، بتن تازه در تماس با آب دچار آب شستگی و جداسازی می گردد. دو رویکرد در ارتباط با مواجهه با این موضوع وجود دارد یکی استفاده از روش های بتن ریزی زیر سطح آب و دیگری تغییر در طرح مخلوط بتن تازه می باشد. در این مقاله راهکارهای کاهش آب شستگی در بتن با رویکرد تغییر در طرح مخلوط بتن تازه که توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته، ارائه شده است. تغییرات در طرح مخلوط باید به نحوی باشد که سبب افزایش ویسکوزیته و چسبندگی بتن تازه شود تا آب شستگی و جداسازی در اثر بتن ریزی زیر سطح آب کاهش یافته و یا کلاً از بین برود. علاوه بر این بتن ریزی زیر سطح آب باید به نحوی انجام شود که بتن بتواند به راحتی جایدگی شود. بنابراین راهکارهایی باید در نظر گرفته شود تا اولاً سبب افزایش چسبندگی و ویسکوزیته بتن گردد ثانیاً تنش جاری شدن در بتن را کاهش داده و آنرا بصورت خود تراکم و خود تراز درآورد. راهکارهایی که در این بخش ارائه شده است به جهت بهبود وضعیت چسبندگی و ویسکوزیته بتن تازه بوده و برای بهبود وضعیت جاری شدن می توان از روان کننده ها و فوق روان کننده ها استفاده نمود.

Andrew McLeish در کتاب خود [۶] بیان داشته که معمولاً بدلیل عدم دسترسی به محل نهایی بتن ریزی در زیر سطح آب برای تراکم و نظارت و بازدید، لازم است تا بتن در عین حالیکه در برابر آب شستگی پایدار باشد، جریان داشته و بصورت خود تراکم باشد. بنابراین انتخاب دانه بندی سنگدانه جهت پایداری در برابر آب شستگی و آب اندازی و نیز دارا بودن چسبندگی کافی اهمیت دارد. استفاده از سنگدانه های گرد گوشه نسبت به سنگدانه شکسته سبب می شوند تا برای رسیدن به کارایی ثابت آب کمتری برای ساخت بتن لازم باشد لذا استفاده از سنگدانه های گرد گوشه با در نظر گرفتن اصطکاک ماسه و عیار سیمان ثابت باعث افزایش چسبندگی بتن شده و تمایل بتن را به جداسازی و آب اندازی کمتر می کنند. همچنین در مورد ریزدانه ها یا ماسه (ذرات کوچکتر از ۵ میلیمتر) حداقل باید ۱۵ تا ۲۰ درصد آن از الک ۳۰۰ میکرون عبور کند. در مواقعی که ماسه مناسب موجود نباشد لازم است عیار سیمان بالاتر در نظر گرفته شود و یا خاکستر بادی یا سرباره به بتن اضافه گردد. مشخص شده است که منحنی دانه بندی پیوسته بهترین نتایج را به همراه دارد. معمولاً حداکثر اندازه ۲۰ میلیمتر مناسب ترین حالت است. در این کتاب منحنی های دانه بندی بتن براساس مرجع [۷] به صورت شکل ۱ ارائه شده و ذکر شده است که مناسبترین منحنی برای شروع اولیه طرح اختلاط منحنی شماره ۳ بوده که در آن لازم است عبوری از الک ۳۰۰ میکرون از حدود ۵ درصد به حدود ۸ درصد افزایش پیدا کند و در هیچ حالتی نباید منحنی دانه بندی مخلوط از منحنی شماره ۲ بزرگتر باشد. [۶]



شکل ۱- منحنی دانه بندی برای حداکثر اندازه ۲۰ میلیمتر [۷]

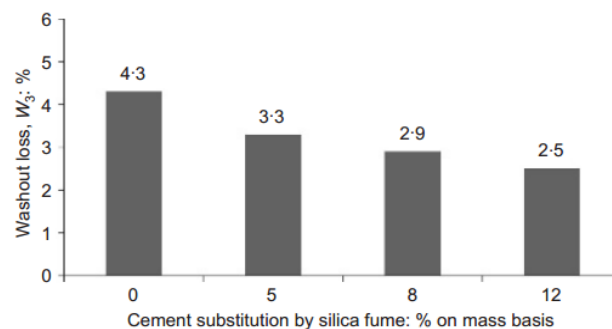
Assaad et al. 2011 [۴] در تحقیقات خود به بررسی تاثیر راهکارهای مختلف در بهبود وضعیت آب شستگی بتن پرداخته اند. آنها در آزمایش های خود نشان دادند که با کاهش نسبت آب به سیمان و افزایش عیار سیمان درصد آب شستگی بتن در آزمایش پایداری بتن تازه در برابر آب شستگی CRD-C61 کاهش یافته است (شکل ۲).



شکل ۲- تغییرات آب شستگی برای مخلوط های ساخته شده با فوق روان کننده پلی کربسیلاتی با عبارها و نسبت های آب به سیمان

متفاوت [۴]

این محققین به عنوان راهکاری دیگر برای کاهش میزان آب شستگی در بتن تازه و افت مقاومت ناشی از آن در بتن سخت شده جایگزینی بخشی از سیمان پرتلند با میکروسیلیس را مورد بررسی قرار دادند.



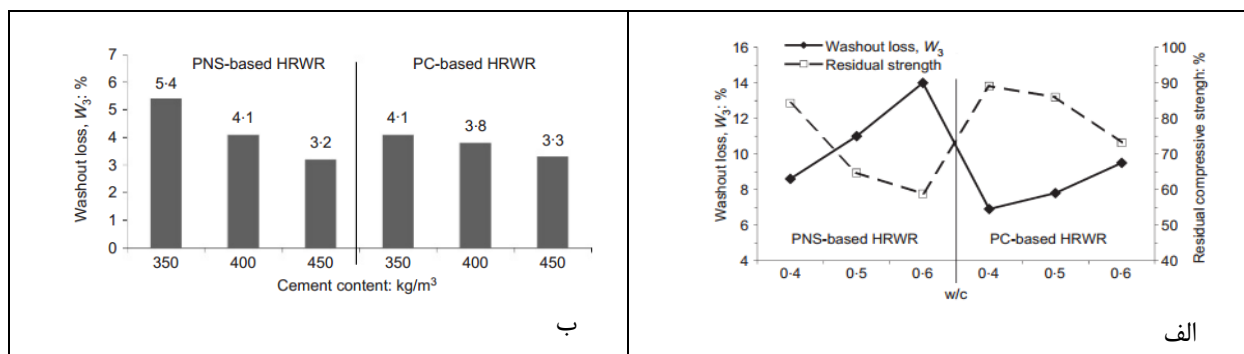
شکل ۳- تغییرات آب شستگی برای مخلوط های ساخته شده با درصد های مختلف جایگزینی سیمان پرتلند با میکروسیلیس (عیار سیمان معادل

۳۰۰ kg/m³ و فوق روان کننده پلی کربسیلاتی [۴])

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می گردد، جایگزینی ۱۲ درصد میکروسیلیس با سیمان پرتلند سبب کاهش درصد آب شستگی در آزمایش CRD-C61 از ۴/۳ به ۲/۵ درصد شده است.

این محققین به منظور بررسی مقاومت بتن بعد از آب شستگی به مقایسه مقاومت نمونه ها در نمونه گیری بعد از آزمایش آب شستگی و نمونه گیری در هوا پرداختند. نتایج حاکی از آن است که جایگزینی بخشی از سیمان با میکروسیلیس نه تنها مقاومت نمونه های گرفته شده در هوا بلکه مقاومت نمونه های گرفته شده بعد از آزمایش آب شستگی (CRD-C61) را افزایش داده است. به نحوی که در عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۵، با جایگزینی ۵، ۸ و ۱۲ درصد میکروسیلیس بجای سیمان پرتلند مقاومت نمونه در هوا از ۲۹/۴ مگاپاسکال به ترتیب به ۳۰/۷، ۳۲/۵ و ۳۶/۱ مگاپاسکال و مقاومت نمونه های بعد از آزمایش آب شستگی از ۲۷/۴ مگاپاسکال به ترتیب به ۲۸/۲، ۳۱/۴ و ۳۴/۸ مگاپاسکال تغییر پیدا کرده است.

همچنین در این تحقیق تاثیر استفاده از دو نوع روان کننده (پلی کربسیلات یا PC با ۴۰ درصد مواد جامد و نفتالین یا PNS با ۴۵ درصد مواد جامد) نیز بر رفتار بتن در برابر آب شستگی مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر مختلف روان کننده طوری بوده که در همه آزمایش ها اسلامپ اولیه 220 ± 10 شده است. نتایج نشان می دهند که نه تنها مقدار مصرف روان کننده PC با نسبت آب به سیمان، عیار و حدود اسلامپ اولیه یکسان نسبت به مصرف PNS کمتر بوده بلکه در کاهش آب شستگی بتن تازه و به تبع آن افزایش مقاومت پسماند (Residual Strength) بتن سخت شده (طبق رابطه ۳) تاثیر مثبت بیشتری داشته است. در شرایط یکسان عیار سیمان، نسبت آب به سیمان و اسلامپ اولیه ساخت بتن با استفاده از روان کننده پلی کربسیلاتی نسبت به روان کننده نفتالینی هم درصد آب شستگی کمتر و هم مقاومت پسماند بالاتری از خود نشان می دهند.

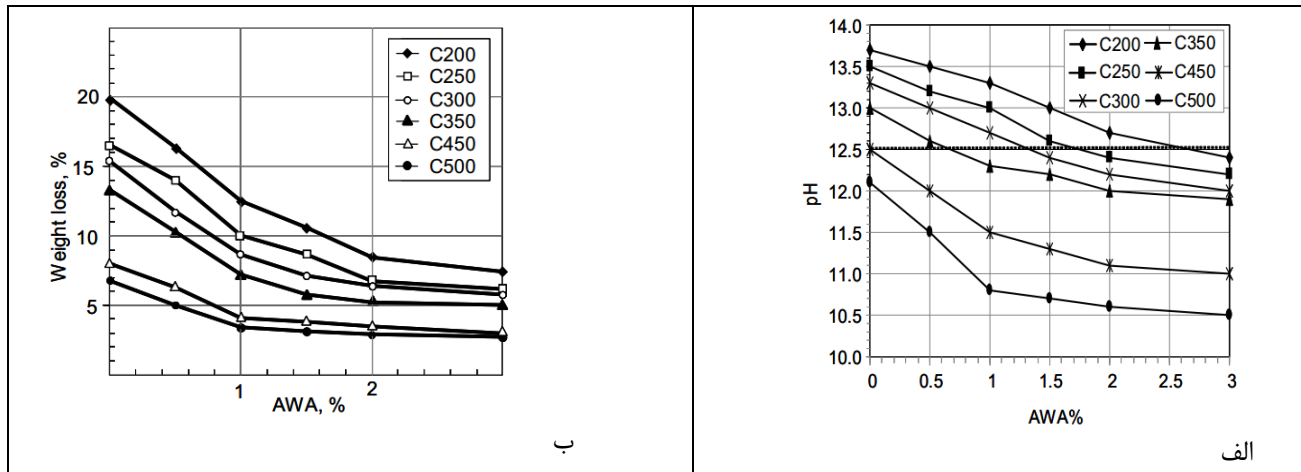


شکل ۴- الف) تغییرات درصد آب شستگی و مقاومت پسماند برای مخلوط های با نسبت آب به سیمان مختلف و روان کننده های مختلف، ب) تغییرات درصد آب شستگی برای آب به سیمان ۰/۵ و عیارهای مختلف سیمان با استفاده از فوق روان کننده های PC و PNS [۴]

این محققین آزمایش آب شستگی در مخزن تحت فشار را انجام داده و طی آن به این نتیجه رسیدند که کاهش وزن در اثر آب شستگی با افزایش فشار آب مخزن که معادل با افزایش عمق بتن ریزی می باشد، بیشتر می شود. همچنین راه کارهای ارائه شده توسط ایشان جهت کاهش آب شستگی (کاهش نسبت آب به سیمان، افزایش عیار سیمان و جایگزینی بخشی از سیمان با میکروسیلیس)، سبب افزایش آستانه تحمل آب شستگی بتن در اعماق بیشتر آب (فشار بیشتر آب) می گردد.

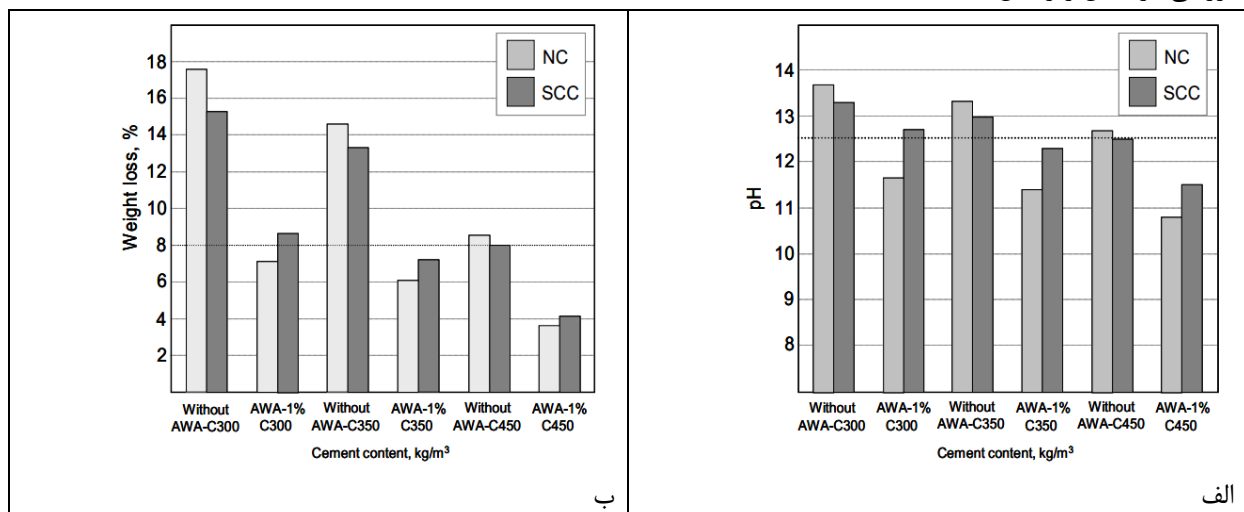
Heniegal 2012 [۸] در مقاله خود مواردی نظیر نسبت آب به سیمان (از ۰/۲۸ تا ۰/۵۰)، عیار سیمان (از ۲۰۰ تا ۳۰۰ kg/m³)، میزان افزودنی روان کننده، نسبت ماسه به کل سنگدانه و همچنین مقدار افزودن AWA (از صفر تا ۳ درصد وزن سیمان) را بر رفتار بتن معمولی و بتن خود تراکم مورد بررسی قرار داده است. همچنین تلاش کرده با استفاده از معیار مقاومتی برای بتن نمونه گیری شده زیر آب نسبت به نمونه گیری در هوا که بالاتر از ۷۰ درصد باشد، معیاری برای آزمایش های CRD-C61 و اندازه گیری PH بعد از آن، در طرح مخلوط های خود ارائه دهد. با بررسی طرح ها در آزمایش های

CRD-C61 و اندازه گیری PH نتیجه گرفته شد که درصد آب شستگی و PH باید به ترتیب کمتر از ۸ درصد و ۱۲/۵ باشند. بنابراین در طرح های با عیارهای سیمان کمتر از 450 kg/m^3 بدون استفاده از AWA نتوانسته این معیارها را برآورده سازد. تاثیر افزایش عیار سیمان و افزودن AWA به طرح های اختلاط در بهبود درصد آب شستگی و PH در بتن های خودتراکم در آزمایش های این محقق در شکل زیر ارائه شده است:



شکل ۵- الف) تغییرات PH ب) تغییرات درصد آب شستگی در آزمایش CRD-C61 - با تغییر در عیار سیمان و نیز افزودن AWA با درصدهای مختلف [۸]

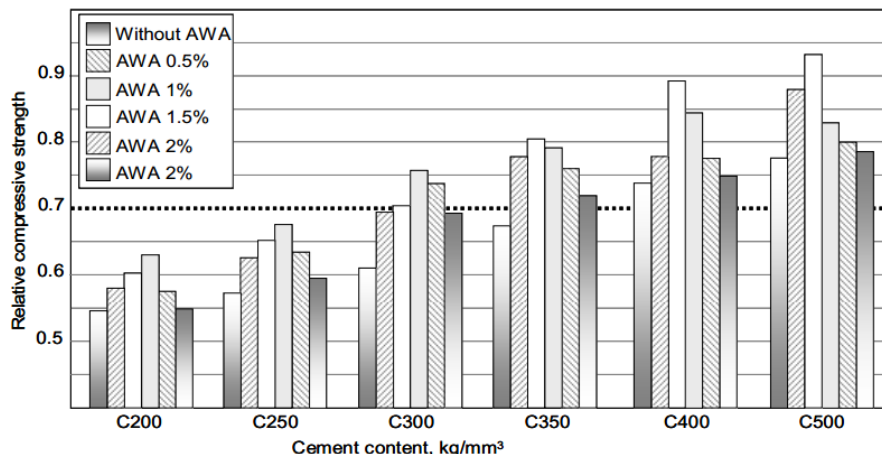
همچنین از نمودارهای شکل ۵ نتیجه حاصل شد که تاثیر مواد افزودنی AWA در درصدهای آب شستگی بالای ۸ بیشتر نمایان می گردد. همچنین این نتیجه حاصل شده است که در طرح اختلاط های بررسی شده، در هر دو نوع بتن بدون افزودن AWA باید حداکثر نسبت آب به سیمان ۰/۴ و حداقل عیار سیمان 450 kg/m^3 باشد تا معیار مقاومت پسماند برآورده شود. در این تحقیق خاصیت ضد آب شستگی در دو نوع بتن معمولی و خود تراکم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی در شکل زیر قابل مشاهده است:



شکل ۶- الف) تغییرات PH ب) تغییرات درصد آب شستگی در آزمایش CRD-C61 - در بتن های معمولی و خودتراکم [۸]

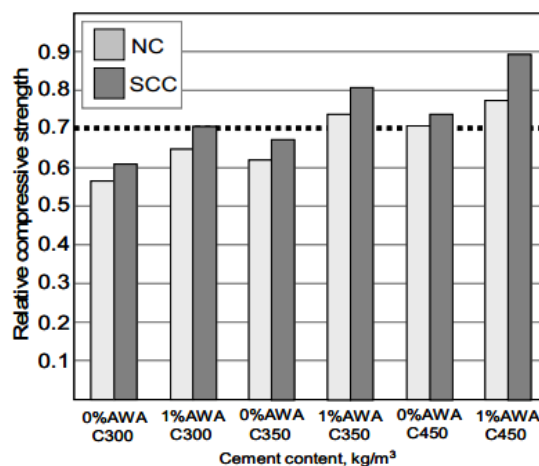
تاثیر AWA بر بتن های معمولی نسبت به خودتراکم و بتن با عیارهای پایین نسبت به مخلوط های پر سیمان، بیشتر بوده است. از راهکارهای این محقق در کاهش اثرات منفی آب شستگی بر بتن افزایش عیار سیمان و نیز افزودن AWA در طرح مخلوط بوده است که این کاهش در آب شستگی بتن تازه سبب افزایش نسبت مقاومت نمونه های گرفته شده در آب به نمونه

های گرفته شده در هوا می گردد ولی در مورد استفاده از AWA با اینکه هرچه AWA بالاتر رفته، درصد آب شستگی کمتر شده است ولی در مورد مقاومت نسبی نمونه ها در طرح های مختلف یک درصد بهینه وجود داشته که وقتی مقدار AWA از آن بیشتر شده است مقاومت نسبی کاهش پیدا کرده است. در شکل ۷ این روند مشاهده می گردد.



شکل ۷- تغییرات مقاومت نسبی با تغییر در عیار سیمان و درصد AWA [۸]

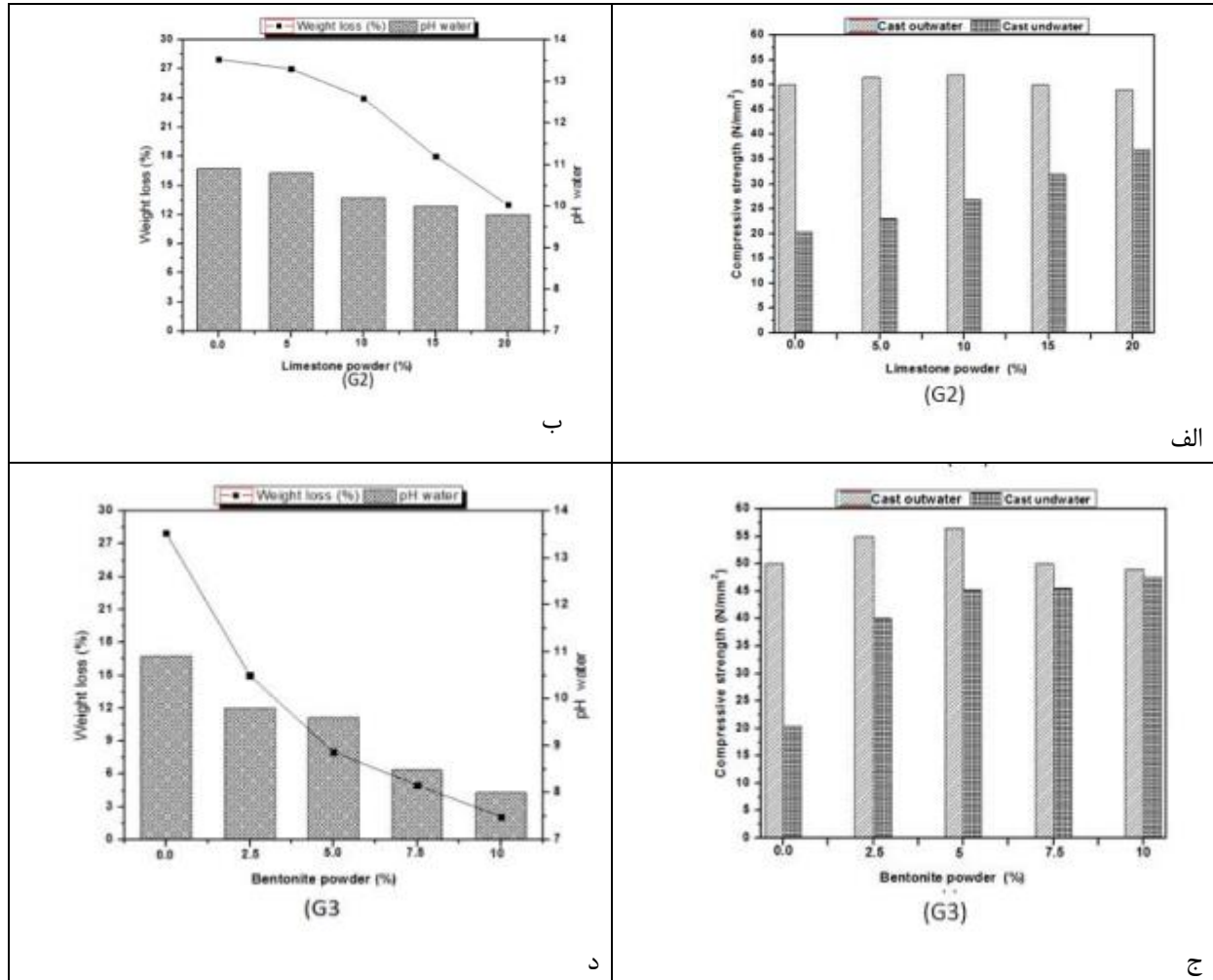
در مورد مقایسه مقاومت نسبی (مقاومت پسماند) در بتن های معمولی و خود تراکم، نتایج این محقق نشان می دهد که مقاومت نسبی در بتن های خود تراکم بیشتر از بتن های معمولی بوده است. این روند نیز در شکل زیر ارائه شده است:



شکل ۸- مقاومت نسبی بتن های خود تراکم و معمولی [۸]

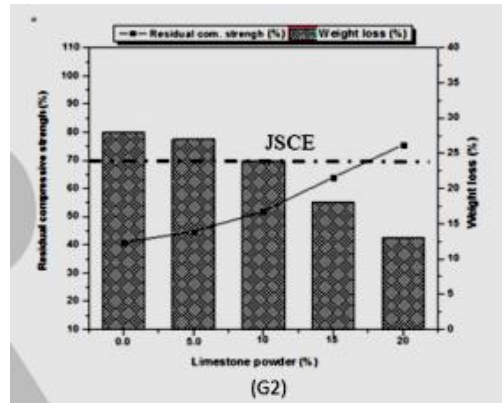
Heniegal 2016 [۹] اثرات افزودن پودر بنتونیت، پودر سنگ آهک و نیز ترکیب آنها و همچنین مواد AWA را در بحث آب شستگی بتن بررسی نموده اند و نشان دادند که استفاده از دو پودر بنتونیت و سنگ آهک و همچنین مواد AWA می تواند در کاهش آب شستگی و جداسازی بتن در بتن ریزی زیر آب اثر مثبت داشته باشند. استفاده از بنتونیت سبب کاهش اسلامپ و جریان اسلامپ به میزان چشمگیر می شود و در مقایسه با پودر سنگ آهک مقاومت فشاری بیشتری در نمونه گیری بتن زیر سطح آب دارد به بیان دیگر از کاهش مقاومت در بتن ریزی زیر سطح آب به میزان بیشتری جلوگیری می کند. از این رو به جهت تامین کارایی لازم و نیز اثرات مثبت بر کاهش پارامترهای منفی بتن ریزی زیر سطح آب استفاده ترکیبی از

بنتونیت و پودر سنگ آهک اثرات بهتری نسبت به استفاده تک تک از آنها داشته است. نمودارهای بدست آمده از نتایج این محققین در شکل ۹ ارائه شده است. در این تحقیق PH آب درون لوله آزمایش آب شستگی CRD-C61، بعد از آزمایش آب شستگی انجام شد که هر چه PH آن پایین تر باشد نشان دهنده آب شستگی کمتر بتن در آب است.

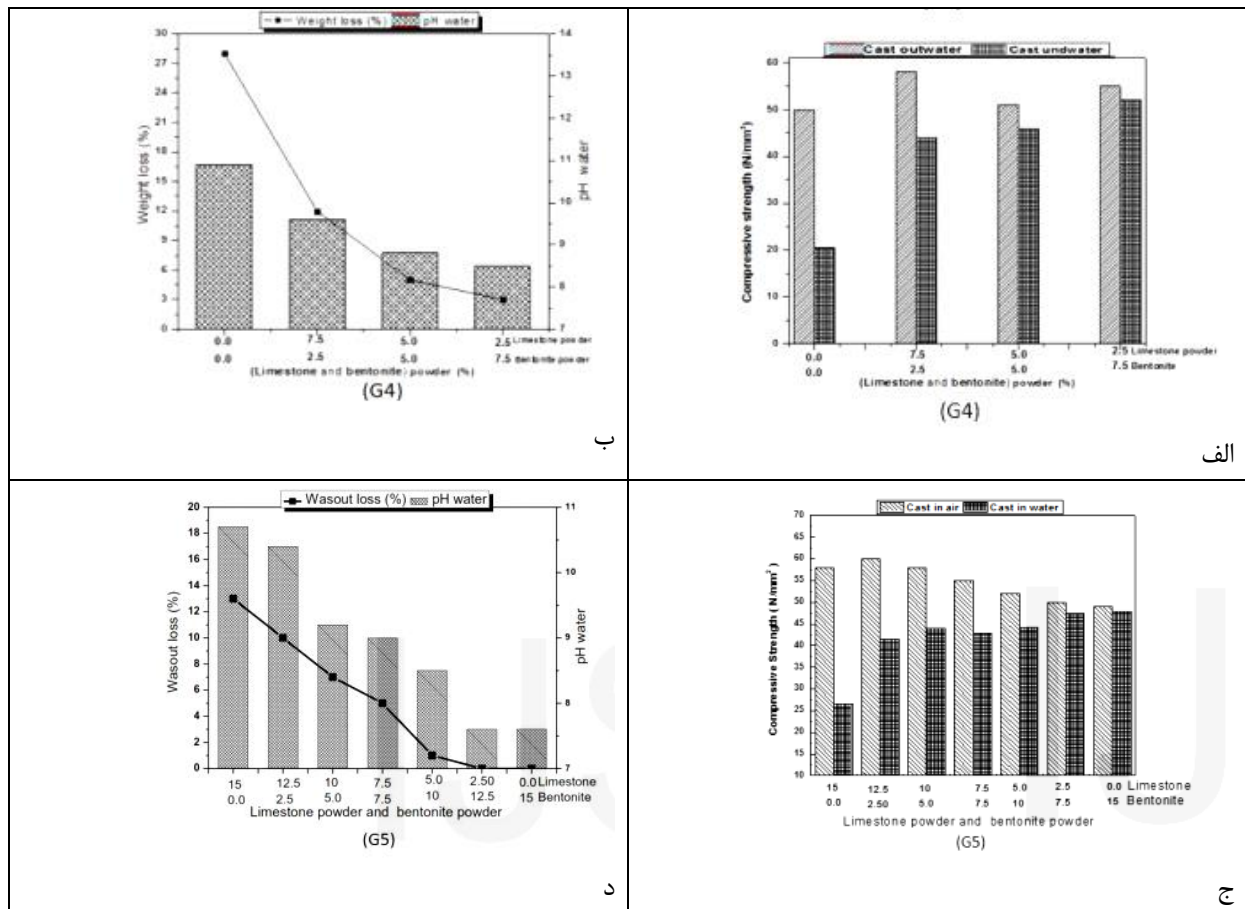


شکل ۹- الف و ج) تغییرات مقاومت فشاری نمونه های گرفته شده در هوا و در آب با افزودن درصدهای مختلف پودر سنگ آهک و بنتونیت به بتن ب و د) تغییرات درصد آب شستگی و مقدار PH آب بعد از آن با افزودن درصدهای مختلف پودر سنگ آهک و بنتونیت [۹]

همانطور که در شکل ۹ مشخص می باشد هرچه مقدار پودرها بیشتر شده، درصد آب شستگی و PH آب کمتر شده است ولی در درصدهای بیشتر از ۱۰ برای پودر سنگ آهک و ۵ درصد برای بنتونیت نمونه های گرفته شده در هوا کاهش مقاومت نشان داده ولی در مورد نمونه های گرفته شده زیر آب همچنان با افزایش درصد پودرها، مقاومت آنها اضافه شده است. این محقق به این نتیجه رسید که میزان آب شستگی در بتن با افزایش مقاومت نسبی ارتباط مستقیمی دارد به این مفهوم که در میزان مصرف هریک از مواد در این تحقیق با کاهش آب شستگی، مقاومت نسبی افزایش پیدا کرده است همچنین با در نظر گرفتن حداقل مقاومت نسبی معادل ۷۰ درصد معیار حداکثر آب شستگی در بتن تازه را برای هر نوع پودر و ترکیب های مختلف آنها در طرح مخلوط های خود بدست آورد. در شکل ۱۰ نمونه ای از این نتایج ارائه شده است:



شکل ۱۰- تغییرات درصد آب شستگی و مقاومت نسبی (مقاومت پسماند) بتن های ساخته شده با درصدهای مختلف پودر سنگ آهک [۹]
در این تحقیق بعد از انجام آزمایش آب شستگی PH آب اندازه گیری شده و نتایج نشان می دهند که افزودن بنتونیت و پودر سنگ آهک اثرات مثبتی در کاهش PH دارند. لازم به ذکر است که در آزمایش PH که از آب لوله آزمایش آب شستگی اندازه گیری می شود هر چقدر اختلاف مقدار PH آن با مقدار PH آب لوله قبل از آزمایش بیشتر باشد نشان دهنده این است که آب شستگی در بتن تازه مورد نظر بیشتر بوده است. همچنین در ادامه نتایج ترکیب پودر بنتونیت و پودر سنگ آهک بکار رفته در طرح های اختلاط ارائه شده است. بطوریکه مشاهده می گردد ترکیب این دو پودر با درصد جایگزینی ثابت نسبت به استفاده تک تک از هر کدام، اثرات بهتری داشته است.



شکل ۱۱- الف و ج) تغییرات مقاومت فشاری نمونه های گرفته شده در هوا و در آب با افزودن درصدهای مختلفی از ترکیب پودر سنگ آهک و بنتونیت به بتن ب و د) تغییرات درصد آب شستگی و مقدار PH آب بعد از آن با افزودن درصدهای مختلفی از ترکیب پودر سنگ آهک و بنتونیت [۹]

همانطور که بیان شد یکی از راهکارهای کاهش آب شستگی در بتن استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی (AWA یا Admixture Anti Washout) می باشد. مواد AWA با افزایش چسبندگی در بتن (در اثر افزایش ویسکوزیته آب) باعث کاهش جداسازی در آن می شوند (Kawai 1987) [۱۰]. در بخش بعد به معرفی این نوع مواد افزودنی پرداخته شده است و نتایج محققینی که نحوه عملکرد و اثرات آنها را بر خواص بتن تازه و سخت شده بررسی نموده اند ارائه شده است.

۴. معرفی مواد افزودنی ضد آب شستگی (AWA) و تاثیر این مواد بر خواص بتن تازه و سخت شده به عنوان راهکاری برای جلوگیری و یا کنترل آب شستگی در بتن

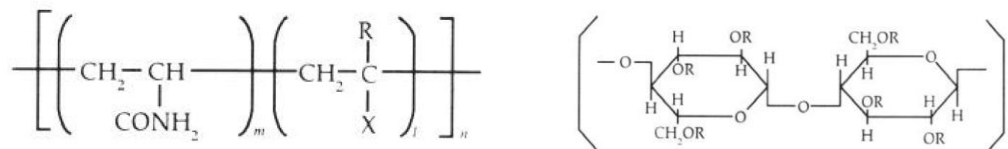
۳-۱- معرفی مواد AWA

مواد افزودنی ضد آب شستگی یا AWA در ابتدا در اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی در آلمان و در اوایل دهه ۱۹۸۰ در ژاپن پدیدار شدند. همچنین از اواخر ۱۹۸۰ میلادی این مواد در آمریکای شمالی مورد استفاده قرار گرفتند. [۱۱] این مواد در اصل همان مواد افزودنی اصلاح کننده ویسکوزیته (Viscosity Modifying Admixture یا VMA) یا (Viscosity-Enhancing Admixtures یا VEA) هستند که با مصرف بیشتر آنها نقش ضد آب شستگی در بتن را بوجود می آورند.

Kawai 1987 [۱۰] پلیمرهای محلول در آب را به ۳ دسته کلی به شرح زیر تقسیم کرده است:

- ۱- پلیمرهای طبیعی شامل نشاسته، صمغ های طبیعی و پروتئین های گیاهی.
 - ۲- پلیمرهای نیمه ترکیبی که شامل نشاسته تجزیه شده و مشتقات آن است: مشتقات سلولز اتر، مانند سلولز متیل هیدروکسی پروپیل (HPMC)، هیدروکسی اتیل سلولز (HEC)، همچنین الکترولیت ها مانند آلرینات سدیم.
 - ۳- پلیمرهای مصنوعی از جمله اتیلن مانند پلی اتیلن اکسید، آنهایی که بر پایه وینیل هستند مانند پلی وینیل الکل.
- مواد افزودنی ضد آب شستگی که در بتن استفاده می شوند معمولاً مشتقات سلولزی و پلی ساکارایدها از منابع میکروبی هستند مانند صمغ ولان (welan gum)

همچنین Sogo et al. 1987 [۱۲] بیان داشته که مواد AWA مورد استفاده در بتن را می توان به دو دسته تقسیم نمود: ۱- یک دسته شامل سلولز اتر محلول در آب به عنوان ماده اصل (Sogo et al. 1987 و Kawai 1987) [۱۰، ۱۲]، ۲- دسته دیگر شامل پلیمر نوع ACLYR محلول در آب به عنوان ماده اصلی تشکیل دهنده (Sakuta et al. 1983) [۱۳].



فرمول شیمیایی دسته ۲

فرمول شیمیایی دسته ۱

شکل ۱۲- فرمول شیمیایی مختلف AWA

مواد AWA با افزایش چسبندگی در بتن (در اثر افزایش ویسکوزیته آب) باعث کاهش جداسازی در آن می شوند (Kawai 1987) [۱۰]. AWA ها معمولاً به همراه فوق روان کننده ها بکار برده می شوند تا علاوه بر کنترل آب شستگی یا ایجاد خاصیت ضد آب شستگی در بتن، به جایدگی و تراکم بتن زیر آب کمک شود. ترکیب AWA ها با فوق روان کننده ها نیازمند عملیات آهسته و طولانی مخلوط بتن تازه بوده تا به کارایی بالایی دست پیدا کند [۸]. این دسته از مواد افزودنی همانند سایر

مواد افزودنی دیگر بر رفتار بتن تازه و سخت شده اثر می گذارد. در بخش بعدی سعی شده است تا تاثیر این مواد بر خواص بتن تازه و سخت شده مرور گردد.

۳-۲- تاثیر مواد AWA بر خواص بتن تازه و سخت شده

استفاده از هر نوع ماده افزودنی در بتن خواصی از بتن تازه و سخت شده را تحت تاثیر قرار می دهد. در مورد AWA ها نیز محققین مختلف خواصی را که در بتن تازه و سخت شده ایجاد می کند مورد بررسی قرار داده و در گزارش های خود بازخورد استفاده از این مواد را در بتن ذکر کرده اند. در این بخش به مرور این مطالب پرداخته شده است.

Sogo 1986 [۱۴] در تحقیقات خود نشان داد که برای گروت (mortar) ساخته با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵، با استفاده از مواد AWA بر پایه سلولز اتر زمان گیرش به تعویق می افتد. با افزایش درصد AWA از صفر به ۱ و از ۱ به ۳ کیلوگرم در هر متر مکعب زمان گیرش اولیه به ترتیب تقریباً ۱/۵ و ۲/۵ افزایش می یابد.

Khayat 1995 [۱۵] در تحقیق خود بر روی ویژگی های بتن تازه تمرکز کرده و روانی، آب اندازی، جداسدگی، هوای بتن و زمان گیرش و کسب مقاومت بتن را مورد بررسی قرار داده است. در این بررسی از مواد AWA استفاده شده که جز اصلی آن اکریل امید بوده است. همچنین بتن ها با عیار سیمان و رده پایین تا بتن های با عیار سیمان بالاتر و بتن پر مقاومت مورد بررسی قرار گرفته اند. اسلامپ و جریان اسلامپ برای طرح های مختلف در محدوده ۱۵+۱۸۵ و ۵۰+۳۳۰ میلیمتر تنظیم شده است. با افزودن AWA چه از نوع HPMC یا صمغ ولان، جهت رسیدن به محدوده موردنظر روانی ذکر شده در عیار سیمان و نسبت آب به سیمان ثابت، میزان مصرف افزودنی فوق روان کننده افزایش یافته است. همچنین با افزودن AWA ها گرانروی مخلوط بتن تازه افزایش پیدا کرده است. در مورد بتن های پر مقاومت آب اندازی مشاهده نشده ولی در مورد بتن های با عیار سیمان و رده مقاومتی پایین این پدیده قابل مشاهده بوده که با افزودن هر دو نوع AWA آب اندازی محدود شده است و با افزایش درصد AWA آب اندازی کاهش پیدا کرده و محو شده است. بدلیل محدود شدن آب اندازی خارجی، بتن های با AWA حساسیت بیشتری نسبت به ترک های انقباضی پلاستیک به خصوص در شرایطی که سرعت تبخیر بالاتر است (باد شدید، رطوبت کم و دمای بالا)، از خود نشان می دهند. در تحقیق این محقق درصد هوا نیز اندازه گیری شده است، نتایج حاکی از افزایش درصد هوا در اثر افزودن مواد AWA در شرایط عیار سیمان، نسبت آب به سیمان و روانی یکسان است. در مورد جداسدگی مخلوط بتن تازه نیز اظهار شده است که در اثر ویریه شدید، مقدار جداسدگی مخلوط های دارای AWA با شرایط یکسان عیار سیمان و نسبت آب به سیمان و روانی مشابه، از مخلوط های بدون AWA کمتر می باشد که این امر به دلیل افزایش ویسکوزیته و افزایش چسبندگی در بتن در اثر افزودن AWA می باشد.

Khayat 1995 [۱۵] تاثیر AWA بر روی کاهش وزن در آزمایش CRD C61 را نیز مورد بررسی قرار داده است که با وجود روانی مشابه در طرح های مختلف، در شرایط یکسان عیار سیمان و نسبت آب به سیمان، مخلوط هایی که AWA داشته اند کاهش وزن کمتری را در این آزمایش از خود نشان داده اند. کم شدن آب شستگی بتن در آب در اثر افزودن AWA تحت تاثیر توانایی پلیمر در نگهداری بخشی از آب اختلاط می باشد. این مواد خروج آب، سیمان و ریزدانه های موجود در بتن های ریخته شده در زیر آب را کاهش می دهد که این عامل سبب کاهش آسیب های وارده در اثر آب شستگی در بتن های زیر آب، بر محیط زیست و آب های منطقه می شود و تغییرات در کدورت و PH آب را کمتر می کند.

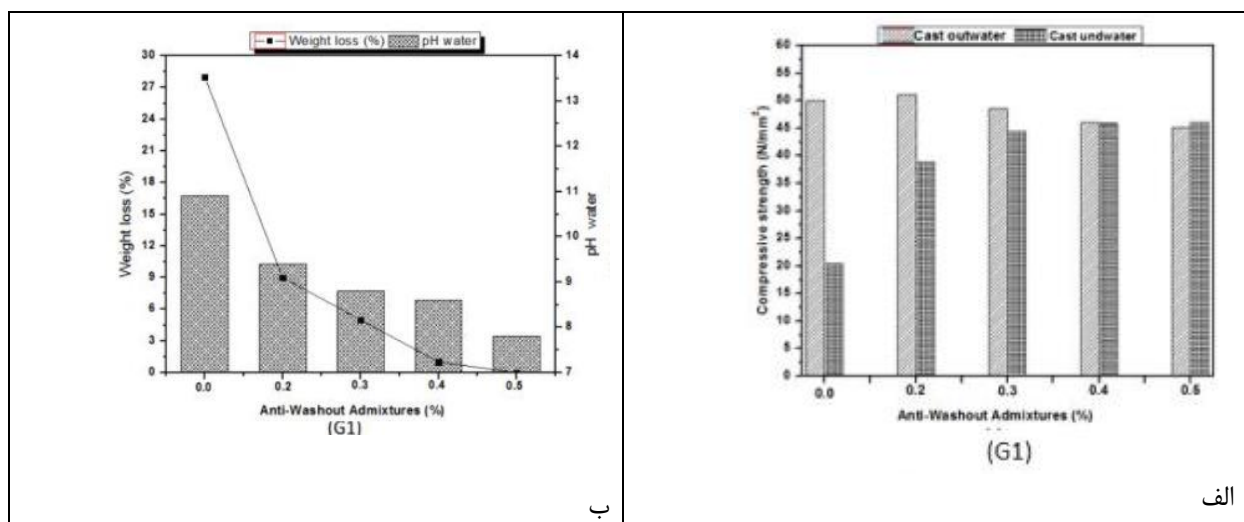
Khayat 1995 [۱۵] در گزارش آزمایش های خود اعلام کرد که با استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی در بتن های با رده های مختلف، در گیرش اولیه و نهایی بتن نسبت به طرح های کنترلی در هر رده تاخیر بوجود می آید. این پدیده ممکن است از جذب مولکول های AWA روی عناصر سیمان بخصوص C₃S در ابتدای کار بوجود آید. این جاذبه می تواند در نرخ انتشار یونها از این ترکیبها به منافذ مایع محلول دخالت کند که می تواند تشکیل اولیه محصولات هیدراسیون را کاهش و در نرخ سفت شدن تاخیر ایجاد کند.

Sonebi et al. 1999 [۱۶] آزمایش هایی را به جهت بررسی رفتار بتن با استفاده از AWA انجام دادند. آنها از یک نوع AWA که بر پایه متیل هیدروکسی پروپیل سلولز با مقدار مصرف ۰/۳ تا ۰/۶ درصد وزن سیمان استفاده کردند. در این تحقیق آزمایش های اسلامپ، جریان اسلامپ و آزمایش آب شستگی به روش های CRD C61 و پاشش آب (Spray Test) را بر روی نمونه ها انجام دادند. نتایج آنها نشان می دهد با استفاده از AWA اسلامپ و جریان اسلامپ کاهش پیدا کرده است. بنابراین برای دستیابی به روانی یکسان باید مقدار مصرف روان کننده اضافه شود. همچنین مقدار کاهش وزن نمونه (آب شستگی) در هر دو آزمایش با استفاده از مواد AWA کاهش پیدا کرده است.

Assaad et al. 2011 [۴] در تحقیقاتشان به این نتیجه رسیدند که با استفاده از مواد AWA چه از نوع صمغ ولان (welan gum) یا سلولزی، آب شستگی کمتر می شود و هرچه مقدار آن بیشتر گردد آب شستگی کمتر می شود علی رغم اینکه برای دستیابی به کارایی یکسان مقدار مصرف مواد افزودنی فوق روان کننده نیز افزایش می یابد.

Heniegal 2016 [۹] در تحقیقات خود به بررسی ویژگی های بتن های زیر آب در حضور و عدم حضور مواد AWA پرداخته است. AWA بکار رفته پودری از نوع صمغ ولان مخصوص بتن ریزی زیر آب می باشد. از جمله نتایج این تحقیق می توان به این موارد اشاره نمود: در کارایی یکسان جاداشدگی و کاهش وزن در آزمایش CRD C61 بدون حضور AWA افزایش می یابد و هرچه مقدار آن بیشتر شود جاداشدگی و کاهش وزن کمتر می شود تا حدی که با ۰/۵ درصد وزن سیمان از این مواد افزودنی جاداشدگی به صفر می رسد. همچنین افزودن آن باعث افزایش ویسکوزیته (گرانروی) مخلوط بتن تازه گشته است. مطابق با کاهش جاداشدگی در آزمایش PH نیز با افزایش درصد AWA مقدار PH آبی که بتن در آن انداخته می شود کاهش می یابد. اسلامپ بتن با افزودن AWA مقداری کاهش می یابد ولی در مورد جریان اسلامپ در بتن های خودتراکم این کاهش چشم گیر است. همچنین با افزایش درصد AWA از صفر تا ۰/۵ درصد، هوای اندازه گیری شده از بتن از حدود ۲/۵ درصد به حدود ۴ درصد افزایش پیدا کرده است.

مقاومت بتن سخت شده با استفاده از AWA که در هوا نمونه گیری شده است با افزایش درصد AWA مقداری کاهش داشته ولی برای نمونه گیری در زیر سطح آب هرچه درصد آن بیشتر شده مقاومت بالاتر رفته است. تا حدی که در مقادیر ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزن سیمان تقریباً مقاومت نمونه زیر آب با نمونه در هوا یکسان بوده اند. نتایج فوق در شکل های زیر ارائه شده است:



شکل ۱۳- الف) تغییرات مقاومت فشاری نمونه های گرفته شده در هوا و در آب با افزودن درصدهای مختلفی از AWA بتن ب) تغییرات درصد آب شستگی و مقدار PH آب بعد از آن با افزودن درصدهای مختلفی از AWA [۹]

Heniegal et al. 2015 [۱۷] در تحقیقاتشان به این نتیجه رسیدند که استفاده از مواد افزودنی ضد آب شستگی (AWA) مقاومت فشاری بتن های گرفته شده در هوا را کاهش می دهد به این صورت که مقاومت های اندازه گیری شده توسط آنها در بتن با عیار 400 kg/m^3 با استفاده از ۰٪، ۰/۲٪، ۰/۳٪، ۰/۴٪ و ۰/۵٪ وزن سیمان از مواد AWA مقاومت های فشاری بتن ها به ترتیب ۵۲/۷، ۴۰/۹، ۴۰، ۳۹ و ۳۶ مگاپاسکال بوده است. در حالی که اگر نمونه گیری زیر سطح آب انجام شود مقاومت های فشاری با افزایش AWA افزایش خواهد یافت. بدین صورت که در تحقیق این محققین بتن ساخته شده با عیار 400 kg/m^3 با استفاده از ۰٪، ۰/۲٪، ۰/۳٪، ۰/۴٪ و ۰/۵٪ وزن سیمان از مواد AWA مقاومت های فشاری بتن ها به ترتیب ۱۹/۲۷، ۲۷/۵، ۳۲/۸، ۳۵ و ۳۷ مگاپاسکال بوده است.

۵. جمع بندی

وقتی بتن ریزی در زیر سطح آب انجام می گیرد اگر هیچ گونه اقدامی جهت جلوگیری از آب شستگی انجام نگیرد، سیمان موجود در بتن توسط آب شسته شده و علاوه بر آنکه باعث کاهش مقاومت در بتن ریخته شده می گردد، سبب آلوده شدن آب اطراف می شود. از این رو روش های بررسی میزان آب شستگی و نیز راهکارهای کاهش آن از اهمیت ویژه برخوردار هستند. در این مقاله ابتدا مختصراً آزمایش های کمی و کیفی آب شستگی ارائه شد. سپس معیارها و مشخصات بتن های ضد آب شستگی بیان شدند. در ادامه راهکارهای کاهش آب شستگی در بتن مرور گردید و بیان شد که افزایش عیار سیمان در بتن و یا کاهش نسبت آب به سیمان می تواند به بهبود خواص بتن های ریخته شده در زیر آب کمک کند. موادی مانند میکروسلیس، پودر بنتونیت و پودر سنگ آهک و همچنین ترکیب آنها نیز می توانند به بهبود آب شستگی در بتن ریزی زیر سطح آب کمک کنند. در این میان برخی افزودنی ها برای بتن ساخته شده که می توانند خاصیت ضد آب شستگی در بتن ایجاد کنند و به بهبود وضعیت بتن ریزی زیر سطح آب کمک نمایند به این مواد اصطلاحاً مواد افزودنی ضد آب شستگی (AWA یا Anti Washout Admixture) گفته می شود. در این مقاله مواد ضد آب شستگی (AWA) مختصراً معرفی گردید و تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده بود مرور شد. AWA ها باعث کاهش میزان جداسازی و پدیده آب شستگی بتن در آب می شود. تمامی راهکارهای ارائه شده برای جلوگیری از آب شستگی هم به لحاظ زیست محیطی و هم به لحاظ سازه ای می توانند مفید باشد. با استفاده از این راهکارها مقاومت بتن های نمونه گیری شده زیر آب نسبت به بتن هایی که در هوا نمونه گیری شده اند، کاهش کمتری داشته اند.

۶. مراجع

- [1] Khayat, K. H. (1991). Underwater repair of concrete damaged by abrasion-erosion, Final Report, Repair, Evaluation, Maintenance, and Rehabilitation Research Program. In Technical Report REMR-CS-37 (p. 325). US Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, MS.
- [2] Japan Society of Civil Engineers, (1991) "Recommendations for design and construction in anti-washout underwater concrete", Concr. Libr. JSCE (67) 89 p.
- [3] Coastal development institute of technology, japanese institute of technology on fishing ports and communities, (1986) Manual for special underwater concrete. (In Japanese)
- [4] Assaad, J. J., Daou, Y., & Salman, H. (2011). Correlating washout to strength loss of underwater concrete. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials, 164(3), 153-162.
- [5] Tomlinson M. J. (1986) "Foundation design and construction". Longman(5th ed).
- [6] McLeish, A. (1994). Underwater concreting and repair. CRC Press.
- [7] Road Research Laboratory (1950) Design of Concrete Mixes, 2nd Edition, HMSO
- [8] Heniegal, A.M. (2012). "Behavior of underwater self-compacting concrete". J. Eng. Sci, 40(4), pp.1005-1023.
- [9] HENIEGAL, A. M. (2016). Developing Underwater Concrete Properties with and without Anti-washout Admixtures.
- [10] Kawai, T. (1987). Non-dispersible underwater concrete using polymers. Marine Concrete, 6.
- [11] SONEBI, M. (2001). "Washout resistance of high-performance underwater concrete". Concrete, 35(1), 32-35.

- [12] Sogo, S., Haga, T. & Nakagawa, T., (1987) Underwater concrete containing segregation controlling polymers, Fifth International Congress on Polymers in Concrete, Brighton, England, September.
- [13] Sakuta, M., Yoshioka, Y., & Kaya, T. (1985). Use of acryl-type polymer as admixture for underwater concrete. Special Publication, 89, 261-278.
- [14] Sogo, S. (1986). Properties of underwater concrete containing segregation controlling admixtures. Marine Concrete, 247-256.
- [15] Khayat, K. H. (1995). Effects of antiwashout admixtures on fresh concrete properties. Materials Journal, 92(2), 164-171.
- [16] Sonebi, M., Bartos, P. J. M., & Khayat, K. H. (1999). Assessment of washout resistance of underwater concrete: a comparison between CRD C61 and new MC-1 tests. Materials and structures, 32(4), 273-281.
- [17] Heniegal, A. M., Maaty, A. A. E. S., & Agwa, I. S. (2015). Simulation of the behavior of pressurized underwater concrete. Alexandria Engineering Journal, 54(2), 183-195.