

بتن مکیده (بتن با اعمال خلا)

Vacuum Processed Concrete

محسن تدین، عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا

مدرس دانشگاه علم و صنعت و انجمن بتن ایران

تلفن: ۰۹۱۲-۲۲۹۰۱۳۵۵ ، نامبر: ۰۲۱-۱۲۷۲۹۹۳ ، پست الکترونیکی: tadayonmoh@yahoo.com

۱- مقدمه و تعاریف

همواره کاهش نسبت آب به سیمان به کاهش کارآئی منجر می شود . سعی وافری بکار رفته است تا برای ایجاد بتن های مقاوم تر و با دوام تر بتوان بتن کارآتری را مصرف نمود . امروزه استفاده از روان کننده ها باعث شده است تا بتن کارآتر شده و کار کردن با آن (ریختن و تراکم) ساده تر گردد .

بتن مکیده تنها بتنی است که ابتدا با نسبت آب به سیمان بیشتر آن را در قطعه می ریزیم و سپس نسبت آب به سیمان آن را با اعمال خلا و مکیدن آب کم می کنیم . این عمل بلا فاصله پس از ریختن و تراکم بتن انجام می شود تا آب اضافی از مجموعه لوله های به هم پیوسته پر آب (بتن اشباع) توسط مکش ناشی از اعمال خلا در سطح بتن از قسمتهای بالائی و تا حدودی قسمتهای میانی آن خارج گردد . ضمناً مقداری از حبابهای هوای بتن نیز بدین ترتیب خارج شده و بتن توپر تر می شود .

۲- کاربردها و محدودیت ها

با توجه به اصول کلی این ریزی و فلسفه بکارگیری آن کاربردها و محدودیت های آن ارائه می شود .

۲-۱- کاربردها

بتنی که مکش بر سطح آن اعمال می شود بخشی از آب خود را از دست داده و علاوه بر سفت تر شدن سریع ، دارای W/C کمتری می گردد و بویژه سطح آن از مقاومت و دوام بیشتری در برابر عوامل خارجی و محیطی برخوردار می شود . بنابر این کاربردهای زیر را می توان برای آن نام برد . همچنین باید گفت حفرات سطحی (مک) قطعات با این شیوه حذف خواهد شد .

۲-۱-۱- این شیوه در کارخانجات قطعات پیش ساخته بتنی برای استفاده بیشتر از قالبها و با دفعات متعددتری در طول روز بکار می رود به نحوی که حتی توانسته اند ظرف ۳۰ دقیقه با این روش قالب یک ستون ۴ متری را بردارند . این امر به اقتصادی تر شدن کار پیش ساخته منجر می شود زیرا هر چه بتن در قالب بماند هزینه ها برای کارخانه قطعات پیش ساخته بیشتر می گردد .

۲-۱-۲- در کلیه دالهای بتنی بویژه در راهسازی می توان این شیوه را برای بهبود کیفی سطح بتن بکار گرفت .

۲-۱-۳- در بتن سرریزها و کانالها و لوله های آب بر می توان از این شیوه را استفاده نمود . در اینگونه موارد مقاومت کل قطعه چندان مهم نیست بلکه مقاومت و دوام سطحی در برابر سایش و قلوه کن شدن ناشی از خلازایی (Cavitation) از اهمیت زیادی برخوردار می باشد .

۲-۱-۴- اتصال خوب روکش بتنی تعمیری در رویه راه یا سرریزها و... با این شیوه بهتر تأمین می گردد .

۲-۲- محدودیت ها

هر روشی دارای محدودیت هایی است که باید آن را شناخت . این روش نیز از محدودیت هایی

برخوردار است که با آن آشنا می شویم .

۱-۲-۲- استفاده از این روش مستلزم داشتن وسایل اعمال خلاً و مکشی می باشد که تأمین آن گران بوده و از تعمیر و نگهداری پر هزینه ای برخوردار است . لذا این روش در کشورهایی پر طرفدارتر است که با این وسایل سروکار بیشتری دارند . کشورهای اسکاندیناوی (بویژه سوئد) به دلیل تبحر و تجربه در ساخت پمپ و کمپرسورهای هوا و خلاً کاربرد این شیوه بتن ریزی را معمول نموده اند در حالیکه در ایالات متحده امریکا کمتر مورد استقبال قرار گرفته است .

۲-۲-۲- عمل مکش و کاهش آب به طور نامحدودی انجام نمی شود و معمولاً حدی برای کاهش W/C وجود دارد که به طور کلی یک محدودیت محسوب می شود .

۲-۲-۳- همه بتن ها به یک میزان در این روش از بهبود برخوردار نمیشوند . همچنین وجود برخی مواد پوزولانی و ریز باعث می شود نتوان به خوبی از این روش استفاده کرد .

۲-۲-۴- همه قسمتهای بتن به یک اندازه بهبود نمی یابند (هم از نظر مقاومتی و هم از نقطه نظر دوام) زیرا W/C در همه قسمتها به یک میزان کم نمی شود . قسمتهای فوکانی با بخش های میانی و تحتانی یک قطعه (مانند دال) کاملاً متفاوت خواهد بود .

البته در این مورد نوع کاربرد ها ممکن است به نحوی باشد که این اختلاف کیفیت در قطعه نامطلوب نبوده بلکه خواسته ما نیز همین باشد .

۵-۲-۲- صرف وقت برای اعمال مکش در قسمت های مختلف سطح قطعه از جمله محدودیت های مهم می باشد . در هوای معتدل یا گرم مسئله گیرش بتن باید به ما اجازه چنین کاری را بدهد زیرا هر چه به زمان گیرش اولیه بتن نزدیک می شویم کار خروج آب با مشکل بیشتری همراه می گردد .

۳- وسایل مورد نیاز

در این روش ما به وسایل زیر نیاز داریم .

۱-۳- پمپ مکش (خلاً)

یک پمپ خلاً برای اینکه فشاری در حدود ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتر جیوه داشته باشیم ، لازم است . انتخاب پمپ به محیط فرش خلاً ما بستگی دارد و باید با این محاسبات ، پمپ از نظر قدرت و تخلیه هوا مشخص گردد . مسلماً پمپ ها ممکن است برقی باشند ، بنابر این تأمین برق ضروری است . اما ممکن است پمپ و کمپرسور با موتور دیزل کار کند . با توجه به مصرف بیش از یک فرش خلاً در پروژه های با سطح زیاد لازم است پمپ یا پمپ های متناسب بکار رود .

۲-۳- فرش خلاً (Vacuum Mat) :

برای اعمال خلاً به یک وسیله برای اینکه از سطح بتن هوا و سپس آب تخلیه گردد ، احتیاج داریم که بدان فرش خلاً می گوئیم . این فرش مربعی یا مستطیلی و با مساحت معمول ۱۰.۲ مترمربع است (طول و عرض حدود ۰.۹ تا ۱.۲ است) . این وسیله از یک دوره (قاب) تشکیل شده که پارچه یا نمد مخصوص به آن متصل شده است (مثل یک تابلوی نقاشی) . این پارچه یا نمد مخصوص ریز ، به یک توری سیمی ریز متصل است و توری سیمی به یک خربای نازک فلزی Joist (وصل می باشد . همچنین یک پوشش فلزی یا چوبی در بالا داریم که لوله ای از میان آن هوا را خارج می کند و در انتهای آن شیر فلکه ای قرار دارد . معمولاً محیط این فرش در محاسبات مهم است و لذا آن را زیاد بزرگ نمی گیرند تا پمپ بزرگ و گران نشود (سطح اهمیتی ندارد) . شکل این فرش خلاً در آخر این بخش مشاهده می شود . در کارخانه قطعات پیش ساخته این فرش به عنوان قالب هم بکار می رود .

گاه به جای استفاده از تخته چند لا در بالای فرش خلا، از یک ورق فولادی انعطاف پذیر (بویژه سطوح دارای انحنا) استفاده می گردد . دور ه فرش خلا دارای یک لاستیک برای هوابندی است و با اعمال فشار روی سطح بتن هوابندی خوبی خواهیم داشت .

۳-۳- وسایل ارتباطی مانند لوله های صلب و انعطاف پذیر (شیلنگ مخصوص) به همراه لوازم اتصال مانند بست ها ، آچارهای مخصوص و سایر لوازم مورد نیاز از جمله وسایلی است که بکار می رود . با توجه به اینکه به ویژه در کارگاهها لازم است فرش خلا از تحرک پذیری خوبی برخوردار باشد لذا از شیلنگهای مخصوص به شدت استفاده می شود .

۴- بتن و مصالح مصرفی :

هر روش بتن ریزی نیاز به بتن هائی دارد که با آن روش ، بهتر تناسب دارند در زیر به این موارد می پردازیم .

۴-۱- کارآئی بتن برای کاربرد این روش باید نسبتاً زیاد باشد . اسلامپ بتن های مربوطه معمولاً از ۵ سانتیمتر بیشتر است زیرا اصولاً در این روش می خواهیم بتن ریزی سهل و ساده ای را داشته باشیم و به مسئله تراکم چندان بهائی ندهیم و گرنه می توانستیم از یک بتن سفت با W/C کم استفاده کنیم و آن را با دقت و با وسایل مناسبی متراکم نمائیم .

۴-۲- از نظر حداکثر اندازه و بافت دانه بندی باید گفت بتن های با حداکثر اندازه بیشتر و بافت دانه بندی درشت تر بهتر آب خود را پس می دهند . به هر حال ضوابط دیگر حاکم بر طراحی بتن نیز در این رابطه تعیین کننده است .

۴-۳- بتن هائی با شن و ماسه غلتیده و گردگوش آب خود را بهتر پس می دهند و از این نظر مطلوب تر هستند . به هر حال بهتر است حداقل ، ماسه این بتن ها گردگوش باشد .

۴-۴- هر چه بتن پر سیمان تر و دارای مواد ریزدانه تر مانند پوزولانها ، پودر سنگ و گل و لای بیشتر باشد ، کار خروج آب مشکل تر می گردد . در واقع هر چه سطح ویژه بتن بیشتر شود آب کمتر پس می دهد و آن را بیشتر در سطح خود نگه می دارد .

۴-۵- مصرف روان کننده هائی که لزجت آب رانیز کم کننده مناسب است .

۴-۶- برای اینکه بتوانیم در مدت زمان قابل قبولی این عمل مکش را در تمام سطح بتن (به ویژه دالهای بزرگ) انجام دهیم ، نیاز به یک کندگیر کننده هم داریم . لذا بهتر است از یک کندگیر کننده روان ساز (روان کننده کندگیر) مثل لیگنو سولفوناتها استفاده نمائیم .

۴-۷- استفاده از مواد حبابزا و بتن حبابدار توصیه نمی شود زیرا این حبابها در اثر مکش خارج می شوند و خروج آب را نیز دشوار می کنند . اصولاً بکارگیری هر ماده در بتن که بتواند خارج شود و یا از خروج آب جلوگیری کند ، توجیه ندارد .

۵- شیوه کار :

گفته شد این شیوه بتن ریزی راه حل تضاد بین ایجاد کارآئی و کاهش C/W را در اجرا ، به نمایش می گذارد که در زیر بدان می پردازیم .

۱-۵- ابتدا بتن نسبتاً شل یا شل خود را در محل می ریزیم و پس از تراکم و تراز کردن آن با شمشه بدون اینکه آن را ماله کشی کنیم ، در اسرع وقت آماده اعمال خلا می شویم . این کار باید قبل از سفت تر شدن بتن صورت گیرد .

۲-۵- فرش خلا را بر روی بتن قرار می دهیم و پس از اتصال به پمپ ، آن را روشن نموده تا مکش اعمال شود و آب بتن خارج گردد . این عمل معمولاً ۱۰ تا ۲۰ دقیقه ادامه می یابد .

۳-۵- پس از پایان کار در یک قسمت ، فرش خلأ را به قسمتهای مجاور منتقل نموده و عملیات را عیناً ادامه می‌دهیم . مسلماً در صورت وجود فرش خلأ به تعداد زیادتر ، می‌توان از آنها استفاده نمود . فرشهای متعدد باعث تسریع کار شده و از سفت شدن بتن نیز جلوگیری می‌شود .

۴- بعد از اعمال مکش در هر قسمت ، می‌توان آن را با ماله چوبی و سپس فلزی صاف نمود .
۵- مکش معمولاً تا عمق ۱۵ سانتیمتری مؤثر است و می‌تواند آب را تا حدود ۲۰ درصد خارج نماید . این خروج آب ممکن است به نشست بتن تا حدود ۳ درصد ضخامت منجر شود .

بدیهی است در ابتدا آب بیشتر خارج شده و به تدریج خروج آب از بتن کم می‌شود . همچنین می‌توان گفت توزیع میزان خروج آب در ضخامت قطعه یکسان نیست . افزایش زمان نیز نمی‌تواند تأثیر چندانی بر افزایش خروج آب و بالاتر بردن کیفیت بتن داشته باشد (به ویژه بیش از ۲۵ تا ۳۰ دقیقه) .

۶- نکات و عوامل مؤثر بر کیفیت کار:

در استفاده از این شیوه بتن ریزی ، باید گفت برخی نکات و عوامل را باید ازنظر دور نداشت تا با دید بهتری کار را به انجام رسانیم .

۶-۱- با خارج کردن آب قبل از گیرش اولیه بتن ، نسبت آب به سیمان کاهش می‌یابد و در صورت ایجاد تراکم مطلوب و عدم ایجاد فضای خالی کیفیت بتن از نظر مقاومتی و دوام افزایش می‌یابد . مقداری از آب عملاً بین حفرات سنگدانه ها و میلگردهای کلفت باقی می‌ماند و نتیجه مورد انتظار عاید نمی‌گردد .

۶-۲- علیرغم کاهش نسبت آب به سیمان باید گفت مقاومت و دوام حاصله کمتر از مقاومت و دوام بتنی است که در ابتدا با نسبت آب به سیمان مشابه ریخته شده باشد اما بهر حال بیشتر از حالتی است که بدون استفاده از این روش آب بتن خارج گردد . شاید ایجاد برخی حفرات بعد از خروج آب و عدم امکان برای تراکم مجدد دلیلی بر این موضوع باشد . در جدول زیر مثالهایی از این مسئله دیده می‌شود . باید گفت این جدول برای یک سری بتن های خاص تنظیم شده و در هر مورد و با استفاده از طریقه اختلاط متفاوت با مصالح دیگر جوابهای دیگری ممکن است بدست آید . در یک بتن ، مقاومت ۳ روزه مگاپاسکالی با این شیوه به ۱۲ مگاپاسکال رسیده است .

W/C قبل از اعمال خلأ	W/C بعد از اعمال خلأ	مقاومت قبل از اعمال خلأ	مقاومت بعد از اعمال خلأ
۰.۷۴	۰.۶۸	۱۷.۰	۲۳
۰.۷۱	۰.۵۹	۱۰.۰	۲۲.۰
۰.۶۵	۰.۵۷	۲۰.۵	۲۷
۰.۶	۰.۵۵	۲۹.۵	۳۳

۳-۶- مقدار خلاً اعمال شده معمولاً در حدود ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتر جیوه (فشار اتمسفر ۷۶ سانتیمتر جیوه در حالت عادی و کنار دریا) می باشد . افزایش خلاً ممکن است به خروج و حرکت ذرات ریز منجر شود . بنابر این برای هر بتنی با طرحهای اختلال متفاوت فشار خلاً خاصی بکار می رود . بدیهی است خلاً بیشتر موجب خروج آب بیشتر (استعداد خروج آب بیشتر) می شود .

۴-۶- افزایش سطح ویژه ذرات بتن شامل کاهش حداکثر اندازه ، ریزبافت شدن ، وجود ذرات ریز زیاد مانند سیمان (بویژه سیمان ریز دانه تر و حاوی سرباره و پوزولانهای خیلی ریز) و پوزولانهای سرباره ها بویژه میکرو سیلیس ، همچنین پودر سنگ و گل و لای بیشتر می تواند کار خروج آب را مشکل کند و خلاً بیشتر و زمان بیشتر برای این کار لازم است مشروط بر اینکه این امر شدنی باشد .

۵-۶- زمان اعمال خلاً نیز یک عامل در جهت افزایش کیفیت کار محسوب می شود . زمان اعمال خلاً ۱۰ دقیقه تا ۳۰ دقیقه می باشد که زمان بیش از ۲۰ دقیقه عملاً در مقایسه با هزینه ، اثر چندان را نشان نمی دهد . زمانهای مطلوب و بهینه ۱۵ تا ۲۵ دقیقه است . مسلماً در ابتدا آب بیشتری خارج شده و سپس بتدریج آب خروجی کمتر می گردد .

۶-۶- ایجاد یک فضای خالی بعد از اعمال مکش بویژه در بتن های سفت تر باعث می شود تا افزایش مقاومت و دوام چندان چشمگیر نباشد . لذا به نظر می رسد ایجاد تراکم و لرزش حین مکش یا بعد از آن بتواند کیفیت کار را به مراتب بهتر کند . تحقیقات و آزمایشهای گوناگون این امر را تأیید نموده و همچنین نشان داده است که لرزش در حین مکش مقدار آب خروجی را تا دو برابر افزایش داده است . لذا دو عامل باعث افزایش کیفیت شده است : یکی کاهش بیشتر آب و دیگری کاهش فضای خالی ناشی از خروج آب .

یکی از محققین به نام Garnett در سال ۱۹۵۹ نشان داده که یک نتیجه بسیار خوب ضمن ۲۰ دقیقه اعمال خلاً وقتی حاصل شده است که بین زمانهای ۴ تا ۸ دقیقه و مجدداً بین ۱۴ تا ۱۸ دقیقه لرزش اعمال نموده ایم . این محقق علاوه بر نمایش صحت نظریه فوق ، نشان می دهد که دامنه تحقیقات در برخی کشورها بر روی این نوع بتن تا چه حد پیشرفته و گستردگی شده است .

۷-۶- میزان خروج آب از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری را در یک مکش معمولی تا ۲۰ درصد ذکر نموده اند و در عمقهای کمتر خروج آب تا بیش از ۳۰ درصد می رسد . فشار مکش ، نوع بتن و مصالح آن و میزان کارآئی و آب اولیه در ساخت بتن در این زمینه مؤثر می باشد . ضخامت قطعه نیز بی تأثیر نیست و باید گفت در نزدیکی سطح ، آب بیشتری خارج می شود و کیفیت قسمتهای سطحی بمراتب بهتر از بخشهای عمیق تر خواهد شد . به هر حال عمق مؤثر را ۱۵ سانتیمتر در نظر می گیرند و برای قطعات ضخیم پیش ساخته مکش از دو طرف باید اعمال شود .

۸-۶- به طور مثال از یک پمپ خلاً (مکش) ۲۲ متر مکعبی در دقیقه (۸۰۰ فوت مکعب در دقیقه) واقع در فاصله ۴۰۰ متری از قالب ها با مکش متوسط ۵۰ سانتیمتر جیوه را در سطح ۱۱۰ متر مربعی (۱۲۰۰ فوت مربع) استفاده نموده اند . همچنین از یک پمپ خلاً ۳۰ متر مکعب در دقیقه برای اعمال خلاً ۳۸ سانتیمتر جیوه در سطح ۳۷ متر مربعی استفاده گردیده و موفقیت آمیز بوده است . به هر حال این پمپها بزرگ بوده و در کارهای کوچکتر پمپهای خاص نیاز نیست .

۹-۶- مسلماً گذشت زمان کار خروج آب را مشکل می کند . ضمناً با خروج آبهای اولیه بتن سفت تر شده و عمل خارج کردن آب با مشکل بیشتری همراه می گردد لذا تسريع در کار همواره بر کیفیت تأثیر مثبتی دارد .

۷- کنترل کیفی بتن :

در هر روش بتن ریزی کنترلهای کیفی خاصی ممکن است معمول باشد . در این روش نیز به

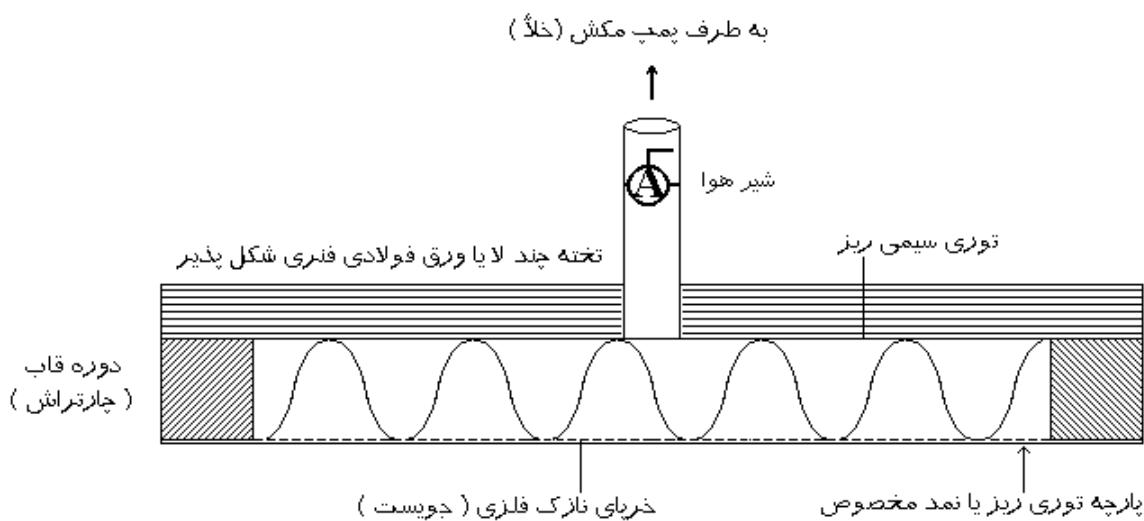
مقتضای شکل کار ، کنترلهای زیر باید اعمال شود .

۱-۷- کنترل بتن تازه معمولاً با کنترل کارآئی (اسلامپ) همراه است . هرچند باید با کنترل اسلامپ به طرز غیر مستقیم به صحت ساخت و درستی نسبت آب به سیمان دست یافت اما این بتن بعداً دستخوش تغییراتی می‌شود . لذا باید با داشتن طرح اختلاط مشخص و کنترل این طرح در آزمایشگاه و تحت شرایط مکش ، زمان و میزان فشار را کنترل نمود و به نسبت آب به سیمان مورد نظر دست یافت و سپس در کارگاه نیز این اطلاعات را بکار گرفت . به هر حال کارآئی بتن پس از اعمال مکش قابل کنترل نیست مگر اینکه ما بخشی از بتن ریخته شده را پس از اعمال خلاً مجدد برداشته و اسلامپ آن را کنترل کنیم (در اکثر موارد این اسلامپ ممکن است بسیار کم یا صفر باشد) .

۲-۷- کنترل کیفی بتن می‌تواند قبل از ریختن با تهیه قالب نمونه انجام شود و چندان با ارزش نیست و صرفاً مقاومت بتن قبل از اعمال خلاً را بدست می‌دهد مگر اینکه روی بتن ریخته شده در یک قالب یا پانل مخصوص ، خلاً را اعمال و از آن مغزه گیری نماییم و یا بتوان خلاً را دقیقاً روی قالب مخصوص اعمال نمود . همچنین می‌توان از بتن ریخته شده در قطعه پس از اعمال خلاً و تراکم در سن مقرر مغزه گیری نمود .

۳-۷- در اکثر موارد مسئله مقاومت در این قطعات از اهمیت کمتری برخوردار است و لازم است آزمایشهای سایش و ... را روی سطح آن انجام داد .

۸- شکل یک فرش خلاً:



قطعه یک فرش خلا (Vacuum Mat)

۹- منابع و مراجع :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1- ACI Manual of Practice
2- Properties of Concrete
3- Concrete Manual | ACI 302
Neville
USBR - USDI |
|--|-----------------------------------|

۴- اجرای ساختمنهای بتن آرمه
مهدی قالیبافیان - کامیار سلطانی عربشاهی