ارائه روش های اجرایی مناسب برای بهبودکیفیت و حذف عیوب سطحی بتن (مطالعه موردی پروژه راه آهن سریع‌السیرتهران– اصفهان)

ابراهیم زند بابارئیسی[۱] ، امیرحسین قاسمی تبار[۲]

۱- کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی،پروژه راه آهن سریع السیر تهران- اصفهان، مسئول کنترل کیفیت

۲- کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، ،پروژه راه آهن سریع السیر تهران- اصفهان، کارشناس کنترل کیفیت

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (eb.۶۴zand@gmail.com)

چکیده

کنترل و نظارت بر تولید فنی و کیفی بتن های مصرفی در پروژه توأم با اجرای اصولی طرح مخلوط بتن، از عوامل بسیار مهم و تاثیر گذار برکیفیت محصول نهایی یعنی سازه بتنی مقاوم و با دوام همراه با منظری زیبا می باشد. وجود برخی از نواقص و عیوب در سطح ظاهری بتن اجرا شده می تواند منجربه کاهش پایداری و دوام سازه اجرا شده،گردد. از جمله این نواقص می توان به وجود حفرات ناشی از حباب هوا، ترک های سطحی، شن زدگی و کرمو شدن سطح بتن را نام برد. لذا با توجه به اهمیت دوام بتن در پروژه راه آهن پرسرعت تهران، قم، اصفهان به مطالعه تعدادی از آبروهای اجرا شده و در حین اجرا جهت بررسی وجود نواقص سطحی پس از اجرای بتن پرداخته شده و پس از شناسایی نواقص موجود و علل پیدایش آنها، راه کارهایی برای حذف و کاهش این نواقص ارائه و سپس به صورت عملی اجرا گردیده است. نتایج مطالعات بر روی تعداد ۲۰ تصویر از سطح ظاهری آبروهای اجرا شده نشان می دهد که عیوب پله شدگی، وجود حفرات هوا، کرمو شدن و وجود قطعات زائد در بتن به ترتیب ۳۶، ۷، ۲، ۹ درصد از کل عیوب را تشکیل می دهد. نتایج نشان می دهد که استفاده از ماسه با مدول نرمی بین ۲,۷ تا ۳,۱ در طرح مخلوط بتن های این پروژه تاثیر مفیدی بر روی کاهش حباب های سطحی و جداشدگی بتن و کرمو شدن سطوح در مناطق با تراکم آرماتور بالا دارد. لازم به ذکر است که آموزش اصول صحیح ویبره زدن به پیمانکاران، استفاده از درزگیر قالب و حذف قالب های مستهلک نیز باعث کسب نتایج مطلوبی از نظر زیبایی سازه بتنی در این پروژه گردید.

کلمات کلیدی: سطح ظاهری بتن، راه آهن سریع السیر، عیوب سطحی بتن، حفرات ناشی از حباب هوا، ترک های سطحی، ،سطوح شن نما

۱. مقدمه

فضاهای خالی شامل خلل و فرج و حفرات و سوراخ های کوچکی می باشد که در سطح بتن ریزی شده ظاهر می گردد[۱]. فضا های خالی سطح بتن معمولا به نام آبله رو شدن بتن شناخته می شود، که اشاره دارد به حفرات زیر سطحی (Bug hole) و یا به عنوان حفرات چشم ماهی (Fish eye) در سطح بتن نیز شناخته می شود. این حفرات ظاهر غیرقابل قبولی را در سطح بتن ریزی شده ایجاد می نماید (ACI ۳۴۷-۰۴) . در سطح بتن سه نوع حفره می تواند ایجاد شود که شامل حفرات ناشی از هوای بتن، آب و چسبندگی به سطح قالب بوده که هر کدام از این حفرات دارای مشخصاتی هستند که قابل تشخیص می باشد[۱]. بر اساس ACI ۳۰۱-۱۰ حباب های هوا در سطوح عمودی قالب های در حال بتن ریزی خصوصا دیوارها، ستون ها، و

تیرها ایجاد می شود. براساس این راهنما اگر پهنا و عمق آنها گسترده باشد به عنوان نقص سطحی تلقی می گردد. همچنین در ACI ۳۴۷-۰۵ سطح تمام شده بتن به صورت سطح صاف و سطح ناصاف تعریف شده در حالی که در مورد محدودیت تعداد و اندازه مجاز حفرات سطحی مشخصاتی ذکر نشده است. رامزبرگ در سال ۲۰۰۳ مطالعاتی را بر روی تاثیر شرایط قالب بر روی سطح نهایی بتن SCC انجام داد[۸]. او در مطالعات خود دو نوع بتن خود متراکم که دارای ۱٫۵± ۵ درصد هوای عمدی (بر اساس مشخصات پروژه) را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که حباب های هوای ناشی از هوازا تاثیری بر روی ایجاد حفرات زیر سطحی (Bug hole) ندارد. هوای محبوس شده، حباب های هوای با اندازه بسیار بزرگی می باشد که منفعتی برای بتن نداشته و به سطوح قالب می چسبد. این حباب های هوای محبوس شده می تواند در حین فرآیند بتن ریزی تشکیل شوند (اغلب حفرات زیرسطحی بتن در جایی که قالب در حال پر شدن با بتن می باشد، ظاهر می شوند)[۸]. دو عامل خارجی وجود دارد که می تواند تاثیر زیادی را بر روی ظاهر بتن اجرا شده بگذارد. اولین عامل جنس قالب که نوع مرسوم آن فلزی و چوبی می باشد، عامل دوم نوع روغن قالب یا رهاساز است. انواع و برندهای متفاوت روغن قالب ها (بر پایه نفتی) می تواند درجه های متفاوتی از عیوب و نقص سطحی را ایجاد نماید. روش بکارگیری این عوامل نقش مهمی را در ایجاد ظاهر نهایی بتن ایفا می کند، همچنین حباب های هوای بزرگ می تواند بخاطر استفاده از فوق روان کننده در بتن ایجاد و محبوس گردد [۵،۸،۹]. البته نسل جدید فوق روان کننده¬های بر پایه پلی کربوکسیلاتی با نرخ کاهندگی شدید آب (HRWR) دارای مقدار معینی از مواد حباب زدا برای کاهش هوای محبوس شده می باشند[۱۰].این مواد می تواند حباب های میکرونی مفید ایجاد شده در خمیره بتن را نیز از بین ببرند. مصالح مصرفی در ساخت بتن باید طوری انتخاب شوند، که ضوابط طراحی از نظر ایمنی، عملکرد سازه ای، پایایی و شکل ظاهری سازه، با توجه کافی به شرایط محیطی، تامین شوند. براساس گزارش انجمن بتن آمریکا به شماره ACI ۲۱۱۵ مناسب تر است که مدول نرمی ماسه بین ۲,۳ تا ۳,۱ قرار گیرد. در واقع مدول نرمی شاخص مناسبی برای کفایت ریز دانه های موجود در تامین کارایی می باشد. افزایش مدول نرمی موجب کاهش حالت خمیری و خشن شدن مخلوط بتن و همچنین افزایش احتمال جداشدگی آن می گردد [۱۲]. بر اساس راهنمای انتشار یافته انجمن سیمان، بتن و سنگدانه استرالیا کرمو شدگی (Honycombing) به علت عدم پر شدن فضای خالی بین سنگدانه های درشت توسط ملات سیمانی می باشد که پس از قالب برداری به صورت سطح بتنی زبر و خشن که فضای بین سنگدانه های درشت خالی می¬باشد، ظاهر می گردد[۷]. در بعضی اوقات این ظاهر زبر و خشن توسط غشای نازک و ضعیفی از سیمان پوشیده می¬شود. کرمو شدگی همیشه باعث بروز مشکلات زیبایی و بصری ظاهر بتن می شود و علاوه بر آن بسته به عمق و گستردگی رخداد باعث کاهش مقاومت و دوام قطعه مورد نظر می گردد. بر اساس ACI ۳۴۷-۰۴ برای رسیدن به دوام مناسب و همچنین تامین شرایط کیفی قابل قبول برای بتن اجرا شده، سطح ظاهری بتن باید فاقد معایبی چون حفرات هوا، شن زدگی(کرمو شدگی) باشد. همچنین ACI ۳۰۹,۲R-۱۵ در خصوص علل و مشخصات اثرات نامطلوب ایجاد شده در سطح بتن پس از قالب برداری عواملی از قبیل طراحی قطعه بتنی، قالب، شرایط ساخت و اجرا، مشخصات بتن تازه، جایدهی و تراکم بتن نقش دارند. در ادامه، آبروها و زیرگذرهای اجرا شده در پروژه راه آهن سریع السیر تهران- اصفهان که طول دهانه و ارتفاع آن ها بین ۲ تا ۸ متر می باشد با توجه به یک پایش میدانی بررسی شده و راه کارهایی برای شناسایی عیوب بتن و بهبود کیفیت سطح ظاهری آن ارائه شده است.

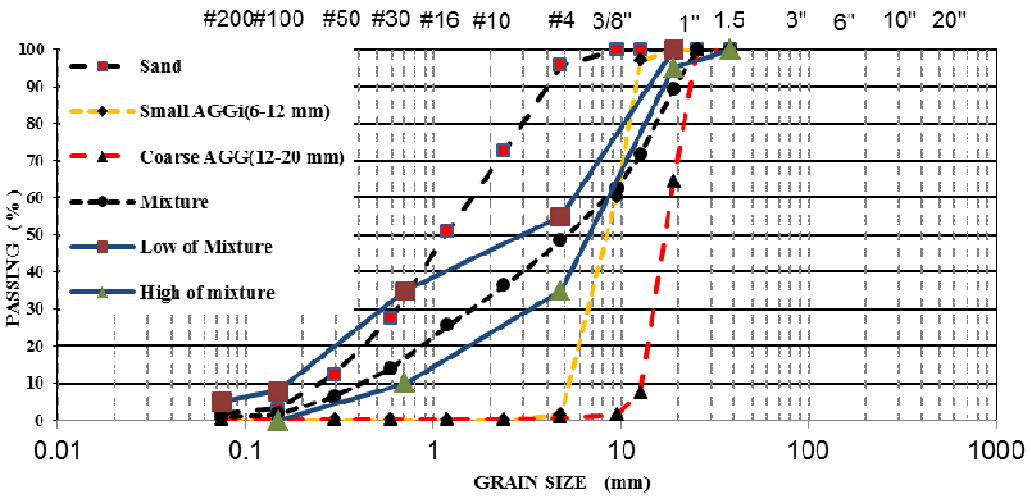
۲- مواد و مصالح مصرفی

۲-۱- سنگ دانه های مصرفی

در ادامه ویژگی ها و شرایط بتن مورد استفاده در پروژه راه آهن سریع السیر تهران-اصفهان که دستورالعمل آن از طرف شرکت مشاور و یا کارفرما (شرکت CREC چین) به پیمانکار ابلاغ شده در زیر ارائه شده است. سنگدانه های مصرفی در این پروژه مطابق با دانه بندی نمودار شکل ۱ می باشد. همچنین در جدول شماره ۲ ویژگی های مصالح مورد استفاده در

بتن های تولیدی آورده شده است. لازم به ذکر است دانه بندی مصالح و شکل آنها، نقش قابل توجهی روی سطح ظاهری بتن دارند. برای کمک به کاهش حباب های هوا درسطح بتن، مصالحی(شن و ماسه) باید انتخاب شوند که اندازه آنها از حدود استاندارد کوچک تر، دارای سطحی صاف، لبه های گرد شده و تاحد امکان شکل دانه ها کروی باشد[۷،۱۳]. شکل کروی کمترین نسبت مساحت سطح ممکن را در واحد حجم ایجاد کرده و مقاومت در برابر نیروی اصطکاک را در حین عمل لرزاندن بتن (ویبره) کاهش می دهد. مقاومت کم دانه ها در برابر حرکت در حین عمل لرزاندن، این احتمال را افزایش می دهد که دانه ها در جهت اشغال موقعیت مناسب خود در فضاهای خالی حرکت کرده و سپس حباب های ایجاد شده به سمت بیرون بتن رها شوند. تعداد حفرات و فضاهای خالی به طور قابل توجهی با فراهم کردن مقدار کافی ریزدانه کاهش می یابد[۱].

ریزترین ذرات ماسه همانند یک بلبرینگ عمل کرده که دانه های درشت تر بر روی آن راحت تر حرکت می نمایند. این ذرات خیلی ریز ماسه شامل ذرات عبوری از الک های ۵۰، ۱۰۰، و ۲۰۰ می باشد که بسیار راحت حرکت کرده و راه خودشان را از بین دانه های درشت جهت پر کردن فضاهای خالی بسیار کوچک پیدا می کنند.



شکل ۱- دانه بندی مصالح مورد استفاده در طرح مخلوط بتن

۲- طرح مخلوط

در آبروهای مورد بررسی قرار گرفته از طرح مخلوط بتن با رده C۳۵ و C۴۰ استفاده شده است، که در جدول شماره ۱ نسبت‌های طرح مورد نظر درج گردیده است.

جدول ۱- طرح اختلاط بتن استفاده شده در آبروها مورد مطالعه

رده مقاومتی طرح مخلوط	بادامی خشک (kg)	نخودی خشک (kg)	ماسه خشک (kg)	سیمان (kg)	دوده سیلیس (kg)	آ ب آزاد + آب جذب شده (kg)	نسبت آب به مواد سیمانی	فوق روان کننده پلی کربوکسیلات اتر (kg)
C ۳۵	۵۷۴	۲۷۶	۹۶۳	۳۸۰	۳۳	۱۴۲+۲۹	۰,۳۵	۲,۵
C ۴۰	۶۰۶	۳۳۰	۸۹۱	۳۹۶	۳۴	۱۳۴+۲۹	۰,۳۱	۳,۸

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی مصالح مورد استفاده در بتن تولیدی

مشخصات	شن بادامی (۱۲-۱۹) میلیمتر	شن نخودی (۶-۱۲) میلیمتر	ماسه (۰-۴,۷۵) میلیمتر	حدود استاندارد	استاندارد
شاخص خرد شوندگی Crushing Index (%)	۴,۹	۴,۶		/	GB/T ۱۴۶۸۵-۲۰۱۱
چگالی توده ای (kg/m^3)	۱۵۵۷	۱۵۴۰	/	/	ASTM- C ۲۹ /C۲۹M-97
جذب آب (%)	۱,۲	۱,۵	۱,۹	< ۳	**Water absorbtion: ASTM- C ۱۲۷** for Coarse .Agg and **ASTM- C ۱۲۸** for Sand
وزن مخصوص خشک (OD)	۲,۶۴	۲,۶۵	۲,۶۳	/	
وزن مخصوص اشباع (SSD)	۲,۶۸	۲,۶۹	۲,۶۵	/	
وزن مخصوص ظاهری	۲,۷۶	۲,۷۶	۲,۷۴	/	
کلوخه رسی (%)	۰,۱۶	۰,۱۳	/	۰,۵ ≤ یا ۱ ≤	ASTM- C ۱۴۲
میزان رس به روش شستشویی (%)	۰,۱۴	۰,۱۸	۱,۹	۲ ≤	GB/T ۱۴۶۸۵-۲۰۱۱
درصد تطویل و تورق (%)	۳,۶	۲,۵	/	۵ ≤ یا ۸ ≤ یا ۱۰ ≤	GB/T ۱۴۶۸۵-۲۰۱۱

۳- روش تحلیل

جهت بررسی کیفیت ظاهری بتن اجرایی آبروهای پروژه راه‌آهن سریع السیر تهران- قم- اصفهان از روش آنالیز تصاویر سطح بتن ریزی شده استفاده گردیده است. دستورالعمل این روش برگرفته از آنالیز کیفی تصویری توصیه شده در ACI 347.3R-13 می‌باشد[6]. در این راهنما مساحت کل حفرات موجود در مربعی به ابعاد ۶۱ ×۶۱ سانتیمتر نسبت به کل سطح بدست آمده و بر اساس تقسیم بندی ارائه شده سطح مورد نظر در یکی از رده‌های SVR۱-SVR۴ قرار می‌گیرد. در این مقاله با بهره‌گیری از نرم افزار اتوکد مساحت نواقص سطحی بتن مورد بررسی قرار گرفته است. روش تحلیل این تصاویر به ترتیب ذیل می‌باشد:

۱- ابتدا تصاویری با کیفیت و مناسب از مقاطع بتن ریزی شده آبروها باید تهیه شود. بر اساس دستورالعمل گزارش تحلیلی کنترل کیفیت ارائه شده توسط کارفرمای چینی تصویر حتی الامکان از فاصله یک متری نقص مورد نظر باید تهیه شود. و مساحت نقص های مورد نظر نسبت به کل سطح در دیواره ها، دستک ها و دال مورد بررسی قرار گیرد.

۲- تصاویر موجود به محیط نرم افزار اتوکد انتقال داده شده و مقیاس تصویرها را ۱ به ۱ می‌گردد.

۳- با استفاده از فرمان Polyline محیط تصویر آبرو رسم شود.

۴- تمام خطی که با Polyline رسم شد انتخاب شود.

۵- با استفاده از فرمان List مساحت ترسیم شده را بدست می‌آید.

۶- به همین شکل قسمت‌های معیوب را با Polyline رسم و با فرمان List مساحت آنها را به‌دست می‌آوریم (بهتر است برای هر کدام از عیوب با رنگ‌های متنوع ترسیم و حروف‌گذاری شود).

۷- مساحت‌های به‌دست آمده را در جدول تحلیل قرار داده و درصد رخداد نسبت به کل سطح را برای هر یک از عیوب بدست می آوریم.

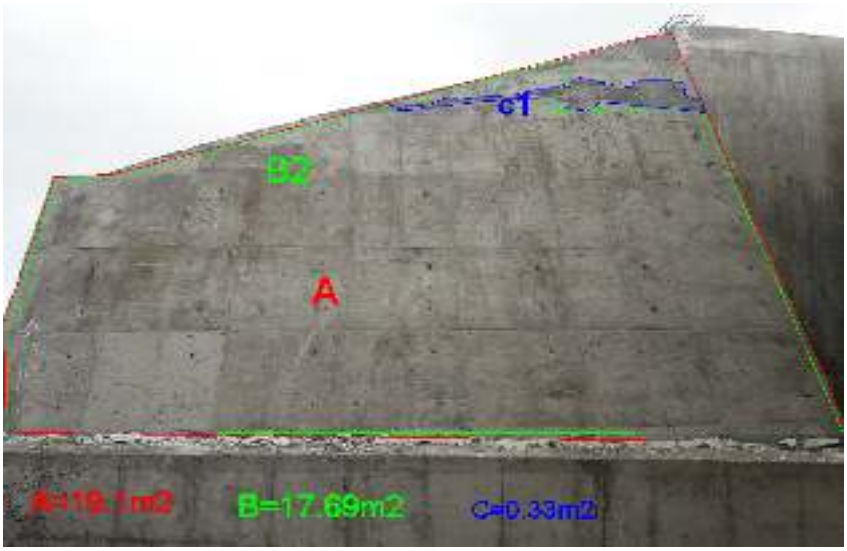
در این بخش با توجه به مراحل بالا و انجام بازدیدهای میدانی ، داده‌های بدست آمده تحلیل و نمودارها و روابط حاصله بین آنها بررسی می‌گردد. در این مطالعه تعداد ۲۰ عدد تصویر در نرم افزار اتوکد مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول درصد رخداد عیب و نمودار های مختلف نشان داده شده است. به علت محدودیت صفحات فقط از این بین ۲ تصویر برای آشنایی به همراه جدول تحلیلی آن بیان می‌گردد.

جدول۳: درصد رخداد عیوب برای تصاویر مختلف

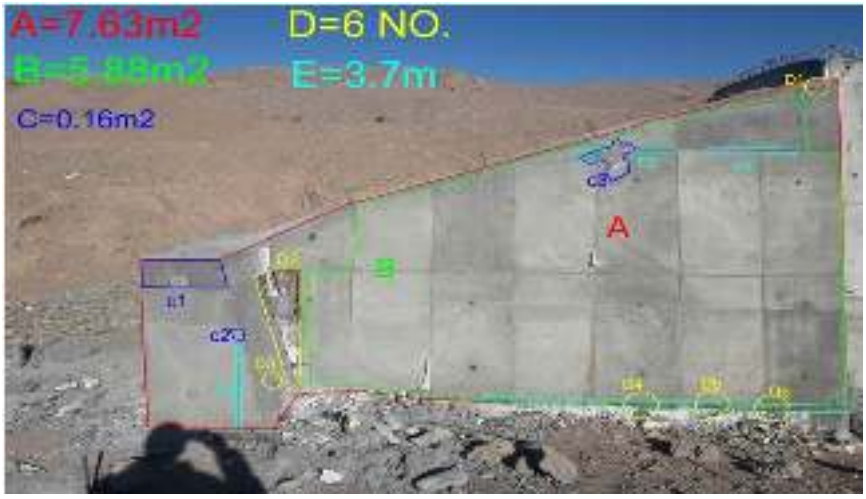
درصد رخداد عیوب	پله شدگی سطح نما (E)	درز سرد (F)	حفرات هوا (B)	شن زدگی (C)	قطعات زائد (D)
تصویر ۱	۰	۰	۲۲,۰۹	۵,۱۲	۳۷
تصویر ۲	۳۲,۳۱	۰	۰	۰,۵۴	۴,۶۸
تصویر ۳	۲,۵۷	۰	۰	۱,۰۵	۴,۶۸
تصویر ۴	۱۹,۹۲	۰	۰	۰,۶	۱۲,۵
تصویر ۵	۲۵,۵۹	۰	۰	۰,۶۹	۰
تصویر ۶	۲۹,۲۳	۰	۰	۰,۰۵	۱۲,۱۲
تصویر ۷	۱۹,۳۱	۰	۰	۰	۵,۵۶
تصویر ۸	۰	۰	۱,۱۲	۰,۷۵	۱,۱
تصویر ۹	۱۷	۰	۰	۱,۳۱	۱۳,۳۳
تصویر ۱۰	۷۰,۵۲	۰	۱,۹۷	۵,۴۲	۸,۱
تصویر ۱۱	۵۲,۶۳	۰	۰	۰	۲۴
تصویر ۱۲	۳۲,۲۹	۰	۱۵,۱	۰,۲۲	۰
تصویر ۱۳	۹۳,۵۳	۰	۵,۷۲	۴,۳۵	۲۰
تصویر ۱۴	۲۷,۲	۰	۹,۱	۴,۸۸	۰
تصویر۱۵	۳۰,۵۷	۰	۶,۲۱	۱۸,۸۸	۰
تصویر ۱۶	۴۱,۲۲	۰	۰	۲,۰۳	۰
تصویر ۱۷	۵۳,۸۱	۰	۵,۰۷	۳,۳۸	۰
تصویر ۱۸	۴۱,۲۲	۰	۰	۱,۰۳	۰
تصویر ۱۹	۵۳,۸۱	۰	۵,۰۷	۳,۳۸	۰
تصویر ۲۰	۸۶	۰	۷۷	۲	۴۳
میانگین عیوب	۳۶,۴۳	۰	۷,۴۲	۱,۹۳	۹,۳۰

جدول۴- ارزیابی کیفیت ظاهری بتن شکل ۲

ردیف	شرح	واحد	مقدار کل	مقدار معیوب	تعداد	درصد رخداد عیب
			A	A۱		A۱/A×۱۰۰
۱	پله شدگی سطح نما (**E**)	متر	۰	۰	۰	٪۰
۲	درز سرد (F)	مترمربع	۰	۰	۰	٪۰
۳	حفرات هوا (B)	مترمربع	۱۹,۱	۱۷,۶۹	۱	٪ ۹۲,۶۱
۴	شن زدگی (C)	مترمربع	۱۹,۱	۰,۳۳	۲	٪ ۱,۷۲
۵	قطعات زائد (D)	عدد	(تعداد کل سوراخ‌ها)	۰	۰	٪۰



شکل۲- تصویر آبرو کیلومتر ۵۰۷+۵۱پارت ۱ سمت خارج



شکل۳- تصویر دستک آبرو کیلومتر ۲۴۸+۵۲ سمت خارج

جدول۵- ارزیابی کیفیت ظاهری بتن شکل ۳

ردیف	شرح	واحد	مقدار کل	مقدار معیوب	تعداد	درصد رخداد عیب
			A	A۱		A۱/A*۱۰۰
۱	پله شدگی سطح نما (E)	متر	۴,۳	۳,۷	۵	٪۸۶
۲	درز سرد (F)	مترمربع	۰	۰	۰	٪۰
۳	حفرات هوا (B)	مترمربع	۷,۶۳	۵,۸۸	۱	٪۷۷
۴	شن زدگی (C)	مترمربع	۷,۶۳	۰/۱۶	۳	٪۲
۵	قطعات زائد (D)	عدد	۱۴	۶	۶	٪۴۳

۴- عیوب سطح بتن

۴-۱- عیب حفرات هوا در بتن

در سطح بتن سه نوع حفره می‌تواند ایجاد شود که شامل حفرات ناشی از هوای بتن، آب و چسبندگی به سطح قالب می-باشد.هر کدام از این حفرات دارای مشخصاتی هستند که قابل تشخیص است[1].

۴-۱-۱- حفرات (حباب) ناشی از آب Water voids

این حفرات هنگامی ایجاد می‌شود که قطرات آب در حین عملیات ویبره بتن بین سطح بتن و قالب محبوس می‌شوند. در این حالت پس از تبخیر آب حفره‌ها باقی می‌ماند. حفرات ناشی از آب نمونه‌هایی تیپیک از بتن‌های با نسبت آب به سیمان بالا می‌باشند، که از نظر شکل به صورت کروی،که اغلب با شیره سیمان روکش شده و اندازه آن ها از ۱/۸ اینچ تا ایعاد میکروسکوپی می‌باشد[6,3]. حجم نهایی هر حباب در ملات نسبت به بتن کمتر می‌شود.

۴-۱-۲-حفرات(حباب) ناشی از هوا Air voids

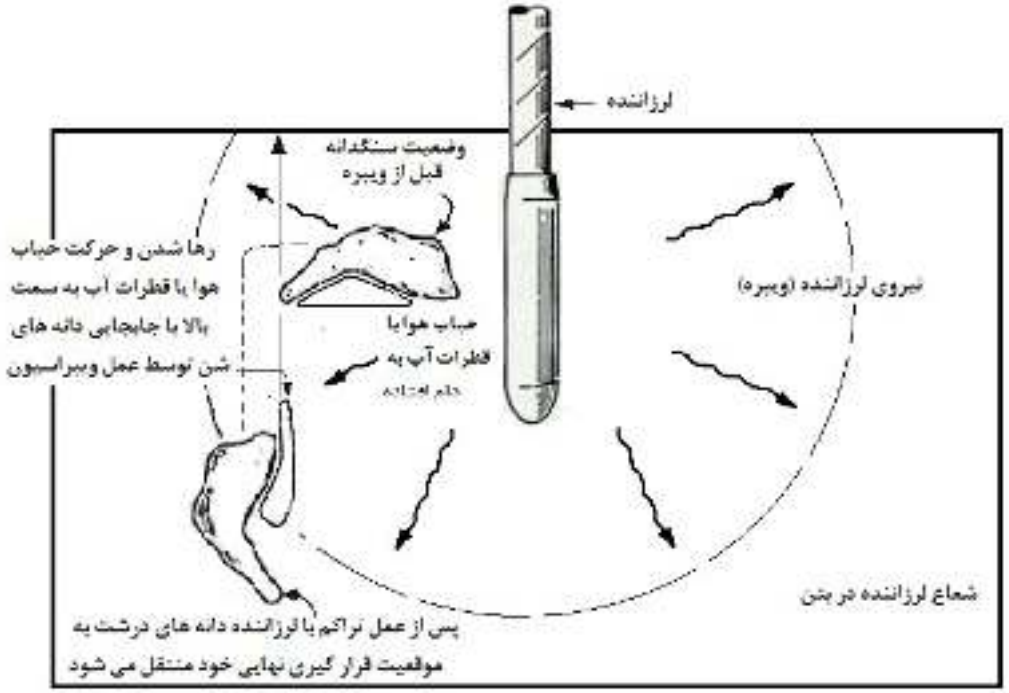
این حفرات هنگامی ایجاد می‌شود که حفرات هوا بین قالب و سطح بتن محبوس شده و به دام می‌افتد. اگرچه این امر در همه بتن ها رخ می‌دهد، اما زدودن هوای محبوس شده در بتن‌های سفت (بتن با کارایی کم) بسیار مشکل‌تر است.
عمده‌ترین مشخصه حفرات ناشی از هوا محبوس شده این است که آنها دارای الگوی شکلی نامنظم و بی قاعده بوده، غالبا هرگز به صورت دایره‌ای کامل بر خلاف حفرات ناشی از آب دیده نمی‌شوند. اندازه آنها از ۱/۲ اینچ (۱,۲۷ سانتیمتر) تا ابعاد میکروسکوپی می‌باشد[6,3] (شکل شماره ۴). این حفرات اغلب با خمیری از سیمان روکش شده و بنابراین دارای سطح زبر و ناهموار هستند که معمولا در بتن‌هایی که خمیره و یا ماسه ریزدانه کافی برای پرکردن فضای خالی بین سنگدانه‌ها وجود ندارد، معمولا رخ می‌دهد. این نوع بتن‌ها معمولا دارای جداشدگی می‌باشند.

شکل۴- تصاویری از وجود حباب در سطح بتن اجرا شده(سطح آبله رو)، در هر دو تصویر حباب ها دارای اشکال نامنظم هندسی هستند

۴-۱-۳-حباب‌های الصاقی Attached void

این نوع حفرات ناشی از حباب‌های هوا یا قطرات آبی است که به اطراف و زیر دانه‌های سنگی و یا میلگردها در قسمت-هایی که شکل دانه نامنظم بوده و یا دارای حفرات کافی برای نگهداری آنها می‌باشد، الصاق می‌گردد[3,1](شکل۵). این نوع حباب معمولا در همه بتن‌هایی که با مصالح خرد شده و یا بتن‌هایی که دارای دانه‌های با شکل غیر متعارف هستند، ایجاد می-شوند.

پس می‌توان نتیجه گرفت بر اساس این مکانیزم، یکی از راه‌های کاهش حباب‌های هوا در سطح بتن، انتخاب سنگدانه مناسب می‌باشد. در این خصوص سنگدانه هایی‌که به شکل کروی نزدیکتر می باشند فضای کمتری برای محبوس شدن قطرات آب و هوا ایجاد کرده همچنین در حین عمل ویبره نیروی اصطکاکی کمتری داشته و راحت‌تر حرکت می‌کنند[11,6,12](شکل ۵).



شکل۵- تصاویری عملکرد و شعاع تاثیر لرزاننده بتن و نحوه تغییر وضعیت سنگدانه و حباب هوای به دام افتاده در زیر آن[1]

۴-۱-۴-حباب‌های ناشی از روغن قالب

روغن قالب به عنوان یک عامل روان کننده بین سطح بتن و قالب عمل می‌نماید. استفاده مناسب روغن قالب در نهایت منجربه بتن ریزی بدون حفرات سطحی خواهد شد. اما در صورتی که روغن قالب یا رهاساز بیش از حد مورد استفاده قرار گیرد باعث تجمع ماندابی از روغن قالب در قسمت‌های تحتانی قالب می‌گردد. انواع و برندهای متفاوت روغن قالب‌ها (بر پایه نفتی) می‌تواند درجه‌های متفاوتی از عیوب و نقص سطحی را ایجاد نماید. همچنین روش بکارگیری این عوامل نقش مهمی را در ایجاد ظاهر نهایی بتن ایفا می‌کند[8,2]. حفرات سطحی که توسط استفاده اضافی روغن قالب به وجود می‌آید، از طریق حفرات دایره‌ای شکل کوچکی که در سطح بتن سخت شده دیده می‌شود، قابل شناسایی می‌باشند. این حفرات اندازه ای در حدود ۱,۸ اینچ یا ۰,۳ سانتیمتر دارند[3,6]

۴-۱-۵-نقش قالب‌ها در ایجاد حباب هوا

قالب‌های چوبی و قالب‌های فلزی اختلافات عمده‌ای در ایجاد نقص‌های سطحی نشان می‌دهند. قالب‌های چوبی نسبت به قالب‌های فلزی تمایل به ایجاد حفرات زیر سطحی بسیار کمتری دارند، به این علت که قالب‌های چوبی روغن قالب مازادی را که با بی‌دقتی مصرف شده، جذب خود می‌نمایند. مقدار کمی از روغن مازاد بر روی قالب‌های فلزی با بتن واکنش داده و ایجاد حفرات زیرسطحی(Bug hole)کوچک یا حفرات سوزنی(Pinhole) می‌نماید[8,11,1]. بنابراین استفاده مناسب و به اندازه روغن قالب کاملا لازم می‌باشد. قالب‌های فلزی نیاز به توجه بیشتری برای دستیابی به سطحی صاف و تمیز دارند. تمیز بودن و صاف بودن قالب تاثیر بسیار زیادی بر روی ظاهر نهایی بتن خواهد داشت. [8,4].

۴-۲- پیشنهادات مفید برای کاهش حفرات سطح بتن:

۱- افزایش زمان اختلاط شدن بتن جهت کمک به انحلال حباب‌های هوا باقی مانده و قطرات آب و در نتیجه ایجاد بتن با یکنواختی بیشتر و کارایی بهتر.

۲- اطمینان حاصل شود، روغن قالب به صورت لایه نازکی جهت آغشته نمودن سطح قالب به کار رود و نه بیشتر.

۳- چسبندگی سیمان را با افزودن ماسه یا خاکستر بادی کاهش یابد. این مسئله اجازه می‌دهد تا دانه‌های درشت‌تر به طور آزادانه تری حرکت کرده و در نتیجه باعث رها شدن حباب‌های محبوس شده می‌گردد.

۴- از دانه‌هایی که دارای شکل واحد یکنواختی می‌باشند استفاده شود. دانه‌های با شکل نامنظم تمایل به کاهش روانی در بتن داشته و در نتیجه باعث محبوس شدن حباب‌های هوا در زیر دانه‌ها خواهند شد.

۵- تکنیک‌ها و روش‌های لرزاندن بتن می‌تواند به کاهش و حذف حفرات سطح بتن منجر شود. استفاده هم زمان از ویبره داخلی و ویبره خارجی باعث می‌شود حباب‌های هوا و قطرات آب محبوس در درون بتن به سمت قسمت باز قالب هدایت شده و از سطح بتن خارج گردد. همچنین چکش زدن پشت قالب می‌تواند باقی مانده حباب‌های هوا را خارج نماید.

۶- پس از ویبره کردن بتن به دلیل اینکه حباب‌های هوا و قطرات آب سبکترین بخش مخلوط بتن را تشکیل می‌دهند به طور طبیعی به سمت روان‌ترین بخش بتن جریان می‌یابند در نتیجه گاهی اوقات مجددا حفراتی در سطح بتن به وجود می‌آید. این مسئله در نزدیکی محلی که ویبره زده می‌شود، رخ می‌دهد. بنابراین در صورتی که از ویبراتور خارجی استفاده می‌شود به طور همزمان چکش زدن قالب نیز باید انجام شود (شکل ۸- ب). کوبیدن پشت قالب اجازه می‌دهدکه شیره و ملات بتن به محل ضربه جریان یابد، در نتیجه حباب‌های هوا و قطرات آب را به سمت قسمت باز قالب هدایت می‌کند. این تکنیک برای قالب‌ها با تو رفتگی‌های عمیق، جایی که حباب‌های هوا و قطرات آب تمایل به حضور دارند، توصیه می‌شود.

۴-۳- عیب شن زدگی در بتن

یکی از مهم‌ترین عیوب سطح ظاهری آبروهای تحلیل شده، موضوع کرمو یا شن‌زدگی است. کرمو شدن و تخلخل بتن در واقع در مناطقی از سازه بتنی ایجاد می‌شود که بر اثر ناتوانی ملات سیمان در پرکردن فضاهای موجود اطراف سنگ‌دانه‌ها خالی مانده است و در نتیجه ظاهری از سنگدانه ها در کنار هم دیده می‌شود که فضای بین آن‌ها فاقد ملات و شیره کافی است. کرمو بودن یا شن نما شدن بتن، ظاهری کاملاً متفاوت با عدم تراکم کافی بتن دارد[7] (شکل ۶ ب).

عامل ایجاد چنین نقصی، جداشدگی در بتن به علت اسلامپ بالا است که می‌تواند ناشی از استفاده بیش از حد فوق روان کننده (شکل ۱۰- الف و ب) و یا نسبت آب به سیمان بسیار زیاد و همچنین خروج شیره بتن از درز قالب‌ها باشد. همچنین یکی دیگر از دلایل ایجاد این مساله افزایش میزان درشت دانه در طرح مخلوط بتنی و عدم مطابقت ماکزیمم سایز درشت دانه با اندازه قطعه مورد نظر باشد. در شکل ۶ تصویر (پ) تراکم آرماتورها در طراحی ارائه شده از طرف کارفرمای چینی دیده می‌شود. با توجه به تراکم میلگردها و پیچیدگی طراحی آن، ویبره زدن قسمت‌های تحتانی دیوار بسیار سخت است و احتمال

جداشدگی بتن در اثر برخورد به میلگردها بسیار افزایش می‌یابد. در این ناحیه با توجه به اینکه طرح مخلوط بتن این آبرو رده C۴۰ (طبق جدول ۱) بوده و نسبت شن بادامی و نخودی به ماسه در آن در حدود ۵۱ درصد است، لذا در تصویر (ب) شکل ۶ یک نمونه از کرموشدگی در اثر اجرای بتن با اسلامپ ۲۰ سانتیمتر و در نتیجه جداشدگی بتن و عدم لرزاندن مناسب ایجاد شده است. در این پروژه با بررسی عوامل زمینه‌ساز و موثر در ایجاد جداشدگی، راه‌کارهای پیشگیری از بروز این مشکل ارائه شده است.

شکل۶- نمایی از اثر قالب‌زدگی سطحی(الف) و کرمو شدگی (Hony combing) شکل (ب)، شلوغی و تراکم میلگرد در آبروهای این پروژه(پ)، جداشدگی و آب انداختگی بتن در اثر استفاده بیش از اندازه فوق روان کننده(ت)

عوامل خارجی کرموشدن بتن شامل برخورد بتن بصورت افقی یا قائم به میلگردها در مسیر تخلیه و جای‌دهی بتن، در رفتن شیره یا ملات از درز قالب (نوعی جداشدگی استاتیکی) و لرزش زیاد از حد در هنگام تراکم (ویبره زنی) بتن (فرونشستن درشت دانه‌ها و رو آمدن ریزدانه‌ها و شیره بتن) می‌باشد(مراجعه به ACI ۳۰۹.2R-15).

همچنین موارد زیر می‌تواند استعداد بتن برای جداشدگی (Segreggation) را افزایش دهد: افزایش اسلامپ بتن، کاهش عیار سیمان و مواد چسباننده یا کاهش خمیر سیمان، افزایش حداکثر اندازه اسمی سنگ‌دانه‌ها، درشت بافت شدن دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها، گرد گوشه‌تر شدن سنگ‌دانه‌ها به ویژه درشت دانه‌ها، کاهش ماسه‌های ریز بتن(ذرات ریزتر از ۰,۳ میلی‌متر).

۴-۳-۱- ارائه راهکاربرای عیب شن زدگی و کرمو شدن سطح بتن در این پروژه

در این پروژه با توجه به مشکلات پیش آمده در بتن ریزی برای بتن رده C۴۰ که به آنها اشاره شد موارد زیر جهت رفع نقص در دو بخش اجرا و اصلاح طرح مخلوط انجام گردید.

۴-۳-۲- اصلاح طرح مخلوط

برای اصلاح طرح مخلوط بتن در ابتدا به این نتیجه رسیدیم که باید ماسه مورد استفاده در این طرح با توجه به الزام کارفرما از مدول نرمی ۳,۵ به مدول نرمی۲,۹ تغییر پیدا نماید. بنابراین با توجه به وجود ماسه شور در کارگاه به تولید ماسه ۰-۴ میلیمتر با مدول نرمی ۲,۹ میلیمتر دست یافتیم. از طرفی با نصب و راه اندازی بچینگ جدید در کارگاه مقدار استفاده از فوق روان کننده با دقت بسیار بالا در توزین به صورت اتوماتیک انجام گرفت و زمان اختلاط بتن از ۶۰ ثانیه در بچینگ به ۸۰ ثانیه برای هر متر مکعب افزایش پیدا کرد. همچنین اندازه مصالح درشت دانه به زیر ۲۰ میلیمتر محدود شد.. و در پایان با کاهش مقدار بادامی از ۶۰۶ کیلوگرم به ۵۷۰ و افزایش مقدار ماسه تا ۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن C40 نتایج بسیار بهتری حاصل گردید(شکل۷).

جدول۷- طرح مخلوط اصلاح شده رده C۴۰ در آزمایشگاه

کننده پلی فوق روان کربوکسیلات اتر (kg)	نسبت آب به مواد سیمانی	آ ب آزاد + آب جذب شده (kg)	دوده سیلیس (kg)	سیمان (kg)	ماسه خشک (kg)	نخودی خشک (kg)	بادامی خشک (kg)	رده مقاومتی طرح مخلوط
۳,۸	۰,۳۱	۱۳۴+۲۹	۳۴	۳۹۶	۹۴۰	۲۹۷	۵۷۰	C ۴۰

شکل۷- شکل سمت راست نمایی از طرح مخلوط بتن اصلاح شده در آزمایشگاه و نتیجه مقاومت فشاری ۵۶ روزه آن ، شکل سمت چپ اجرای این بتن در قطعه پیش ساخته با اسلامپ ۲۰ سانتیمتر بدون جداشدگی

۴-۳-۳- اصلاح و آموزش عملیات ویبره‌زنی با هدف کاهش حباب‌های سطحی و سطوح کرموشده‌گی

پیش از تراکم و جای‌دهی بتن ، باید توضیحات فنی به کارگران مربوطه داده شده و از تسلط آنها به روش ساخت و الزامات اطمینان شود. لذا مراحل و الزامات کوبش بتن به صورت آزمایشی بر روی دوقطعه یک در یک متر جهت آموزش پرسنل اجرایی ابنیه در سایت انجام گردید.

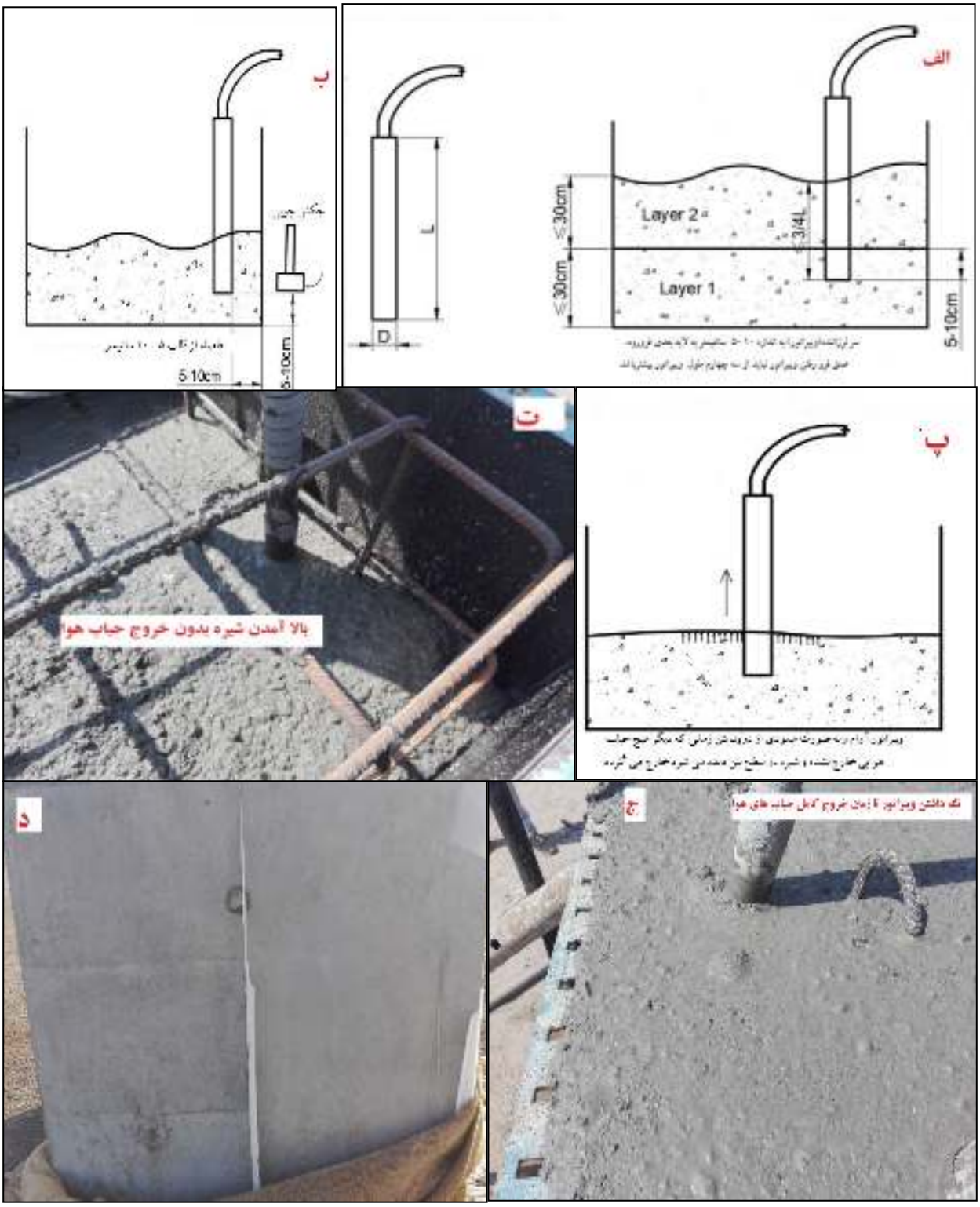
۵- الزامات کوبش بتن جهت رسیدن به سطح نمای مناسب

۱- فرو کردن باید سریع و خارج کردن باید آهسته باشد تا از باقی ماندن فضای خالی در بتن اجتناب شود.
۲- مدت ویبره زنی نباید خیلی کوتاه یا خیلی طولانی باشد. مدت خیلی کوتاه باعث غیر متراکم شدن و مدت خیلی طولانی باعث جدا شدگی بتن می‌شود به این معنی که ماسه و ملات ازهم جدا خواهند شد، دانه ها ته نشین شده و در سطح بتن یک لایه از ماسه تشکیل خواهد شد. به طور کلی مدت ویبره زنی ۲۰ تا ۳۰ ثانیه برای هر قسمت باشد تا اینکه بتن مربوطه متراکم شود. علامت‌های متراکم شدن بتن به صورتی است که ته‌نشینی در بتن متوقف می‌شود و دیگر حباب هوا بالا نمی‌زند، سطح بتن مسطح و شیره بتن در سطح دیده می‌شود (شکل ۸ ت).
۳- بتن باید به صورت لایه‌ای ریخته شود، ضخامت هر لایه به طور کلی از ۳۰ سانتیمتر بیشتر نشود، و به منظور تقویت اتصال بین لایه بالا و لایه پایین باید سر لرزاننده(ویبراتور) به اندازه ۵ -۱۰ سانتیمتر به لایه بعدی فرو رود (شکل ۸ الف). هرچند عمق فرو رفتن لرزاننده به درون بتن نباید از سه چهارم طول لرزاننده بیشتر باشد (شکل ۸ الف).
۴- فواصل حرکت دادن سر لرزاننده نباید بیشتر از ۳,۷۵ برابر قطر ویبره آن باشد، یعنی در ویبراتور نوع ۵۰ نباید از ۱۹ سانتیمتر بیشتر شود (۱۸,۷۵=۳,۷۵×۵,۰).
۵- حین ویبره‌زنی باید قاعده برخوردنکردن به سه چیز رعایت شود. یعنی به سه مورد قالب، آرماتور و اجزای فنی نباید برخوردی صورت گیرد. زمانی که بتن نزدیک به قالب ویبره می‌شود، باید فاصله بین سر لرزاننده و قالب بین ۵ الی ۱۰ سانتیمتر محدود شود، سپس توسط یک چکش چوبی یا لاستیکی به طور هم‌زمان به قالب ضربه زده شود(شکل ۸ ب). در مکان‌هایی که میلگرد متمرکز است و در لبه قالب باید توسط کوبه آهنی کوبیده شود.
۶- زمانی که عملیات ویبراسیون تکمیل می‌شود و زمان تغییر موقعیت سر لرزاننده رسیده باید قسمت ضربه زن به طور آهسته و عمود بیرون کشیده شود. افقی کشیدن سر لرزاننده یا جابجا کردن بتن توسط سر لرزاننده ممنوع می‌باشد.

۶-درز سرد در بتن

درزهای سرد بسته به محل ایجاد و کاربری سازه از منظر دوام و سازه‌ای می‌توانند دارای اهمیت باشند[12]. اگر قرار باشد، بتن در چند لایه ریخته شود و فاصله زمانی بین ریختن لایه‌ها آنقدر زیاد شود که بتن گیرش خود را آغاز کند و نتوان ویبراتور را در لایه زیرین فرو نمود، درز سرد که یک درز ضعیف ناخواسته اجرائی است، حاصل می‌شود[13].

ناپیوستگی در جسم بتن، ضعف سازه‌ای، افزایش نفوذپذیری، کاهش دوام، خوردگی میلگردها و نمای بد از آثار ایجاد این نوع درز بتن است. عامل ایجاد این نوع درز نامطلوب یک یا چند عامل زیر است: عدم اتصال کافی لایه فوقانی به لایه زیرین ،عدم فاصله کافی برای فرو کردن ویبراتور، برنامه‌ریزی ضعیف، تدارک ناکافی تجهیزات شامل تراک میکسر و خرابی بچینگ در زمان ساخت بتن. بنابراین جهت جلوگیری از ایجاد چنین مشکلی برنامه‌ریزی مناسب اجرایی و کنترل بچینگ و میکسرها ازقبل بسیار مهم می‌باشد[12,13]. با توجه به کنترل های انجام شده خوشبختانه به جزء یک مورد در ابتدای پروژه درز سرد ایجاد نشده است و به همین دلیل در این قسمت مختصرا به آن پرداخته شده و در جداول تحلیلی نیز این نقص صفر می باشد.



شکل ۸- الف و ب و پ: شماتیکی از نحوه صحیح لرزاندن بتن ، ت و ج: مراحل تصویری تراکم بتن با لرزاننده بر اساس مراحل عنوان شده، شکل د: نمایی از بتن ویبره زده شده با روش صحیح عنوان شده در متن (در دوره آموزشی کارگاه برای پیمانکار ابنیه)

شکل ۹- نمایی از آبروهای اجرا شده در پروژه راه آهن سریع السیر تهران- قم- اصفهان پس از اصلاح طرح مخلوط بتن و رعایت اصول صحیح ویبره زنی و آموزش پیمانکاران

۷- نتیجه گیری

این پژوهش به مطالعه چند مورد از آبروهای اجرایی در پروژه راه آهن سریع السیر تهران- قم- اصفهان می‌پردازد که در آن عیوب ظاهری سطح بتن مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج مطالعات بر روی تعداد ۲۰ تصویر از سطح ظاهری آبروهای اجرا شده نشان می‌دهد که عیوب پله شدگی، وجود حفرات هوا، کرمو شدن و وجود قطعات زائد در بتن به ترتیب ۳۶، ۷، ۲، ۹ درصد از میانگین درصد رخداد عیوب برای تصاویر مختلف را تشکیل می‌دهند. در این خصوص دلایل اصلی ایجاد نقص‌های به وجود آمده مشخص گردید که با توجه به آن راهکارهای مناسب و عملی حذف آنها به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد:

۱- دانه بندی مصالح و شکل آنها، نقش قابل توجهی روی سطح ظاهری بتن دارند. برای کمک به کاهش حباب های هوا درسطح بتن و جلوگیری از جداشدگی طرح مخلوط پیشنهاد می‌شود که مدول نرمی ماسه حداکثر بین ۲,۷ تا ۳,۱ محدود شود.

۲- افزایش زمان اختلاط بتن‌های پوزولانی(حاوی میکروسیلیس و سرباره) در بچینگ از ۶۰ ثانیه به ۸۰ ثانیه با توجه به چسبندگی بالا جهت کمک به انحلال حباب‌های هوا باقی مانده و همچنین اختلاط یکنواخت در مخلوط بتنی، و همچنین ۱۲۰ دور چرخش تراک میکسر با دور تند و یک دقیقه چرخش با دور کند جهت اطمینان از یکنواختی بتن در حین تخلیه، در سازه مورد نظر پیشنهاد می‌گردد.

۳- با توجه به قدرت روانی بالای مواد افزودنی فوق روان کننده و کاهنده آب بر پایه پلی کربوکسیلات، پیشنهاد می‌شود که حتما قبل از استفاده در بچینگ، نسبت به آزمایش این ماده در آزمایشگاه بر روی طرح مخلوط بتن جهت تعیین حساسیت نسبت به جداشدگی در مقادیر مختلف اقدام گردد.

۴- با توجه به اینکه تمیز بودن قالب و نوع ماده رهاساز(روغن قالب) تاثیر بسیار زیادی بر روی سطح نهایی بتن دارد پیشنهاد می‌گردد، نسبت به حذف قالب‌های مستهلک و تغییر شکل یافته اقدام گردد و همچنین چند نوع روغن قالب انتخاب و با توجه به آزمایش‌های کارگاهی مناسب‌ترین روغن قالب انتخاب شود.

۵- با توجه به وجود قالب‌های بسیار مستهلک در کارگاه‌ها پیشنهاد می‌شود از پیمانکاران با تجهیزات نو و کامل در این پروژه استفاده گردد و در قرارداد با پیمانکار گرید سطح نمای تحویلی سازه بر اساس ACI ۳۴۷،۳R-۱۳ مشخص شده و خواسته شود.

کنترل و نظارت بر تولید فنی و کیفی بتن‌های مصرفی در پروژه توأم با اجرای اصولی، آموزش پیمانکاران و تکنسین‌ها، اپراتورهای پمپ و بچینگ، خصوصا اصول صحیح ویبره زدن به صورت عملی آموزش داده شود تا از تسلط آنها به روش ساخت و الزامات اطمینان حاصل شود.

مراجع:

[1] Hriata Stamenkovi. (۱۹۷۳) "Causes, Mechanisms and Control of Surface Voids ",concrete construction

[۲] Shihai, Zhang- Kejin ,Wang- (2005). "Effects of Materials and Mixing Procedures on Air Void Characteristics of Fresh Concrete"

[۳] Basham ,Kim. (۲۰۱۸) "HOW TO REPAIRING BUGHOLES".,convrete construvtion

[۴] Isamu ,Yoshitake. (۲۰۱۵) "Reducing Bug-Holes on Tunnel Linnig Concrete By Using Covering Sheets"

[۵] Noh, Sang-Kyun۱ Lee Seung-Hoon۲ Han, Cheon-Go Vol. ۱۳, No. ۵(۲۰۱۳)., "Cause of Surface voids in Concrete Attached to an Aluminum Form,and Measures for Prevention., Journal of the Korea Institute of Building Construction",

[۶] Malisch W>R>,Brown H>J>, (۲۰۱۷) "Examination and Evaluation of ACI ۳۴۷،۳R-۱۳ Guide to Formed concrete Surfaces",ASCC Education

[۷] CCAA(Cement Concrete and Aggregates Australia) group, (۲۰۱۴) "Avoiding Surface Imperfections in Concrete: blowholes, crazing, dusting, flaking, honeycombing and popouts",

[۸] Ramsburg, P>, (۲۰۰۵) "using SCC to battle Bugholes", concrete constructon

[۹] Spahr, R>, (۲۰۱۴) "Guide to Formed Concrete Surfaces Presented by Technical Committee ACI-۳47", American Concrete Institute

[۱۰] صالحین ، ع ، عسکری، ر (۱۳۹۴) ، "مواد افزودنی شیمیایی بتن" چاپ اول ، نشر دانشگاهی فرهمند

[۱۱] Daczko,J>A> (۲۰۱۲) "Self – consolidating concrete: Applying what we know", CRC press.

[۱۲] افتخار ، م، شکرچی زاده، ا، حاجی اسماعیلی، ا (۱۳۹۳) ، "راهنمای کاربردی بتن آماده" چاپ اول، نشر علم و ادب

[۱۳] رمضانیان پور ، ع، اعرابی، ن، (۱۳۹۰) ، "تکنولوژی بتن" چاپ اول، تهران: نگارنده دانش