



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

ویژگی ها، کاربردها و روش های تولید بتن عبور دهنده نور

حسین لوک زاده^۱، محمد علی دشتی رحمت آبادی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران مدیریت ساخت، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۲- استادیار گروه عمران، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

hosseinlookz1@gmail.com

چکیده:

بتن، ماده ای است که از ترکیب سیمان، سنگدانه و آب به وجود می آید، با توجه به کاربرد گسترده بتن در صنعت ساختمان سازی، مهندسی عمران و معماری همواره در اندیشه آن بوده اند که با استفاده از فن آوری های جدید، از این ماده پر مصرف در صنعت ساخت و ساز محصولات جدیدی را تولید کنند. یکی از این نوآوری ها، ساخت بتن عبوردهنده نور می باشد که با ترکیب بتن و الیاف نوری تولید شده است. این بتن قادر است درصدی از نور را از خود عبور دهد. در ابتدا به نظر می رسد که این دو ماده هیچ سختی با هم نداشته و حتی در تضاد با هم هستند و جمع شدن این دو در یک محصول را دور از ذهن نشان می دهد ولی امروزه نه تنها با ترکیب این دو ماده، ساخت این بتن تحقق پیدا کرده است بلکه هم اکنون در صنعت ساختمان سازی زیاد مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد این بتن در دیوار، پوشش کف، طراحی داخلی و... می باشد و تحقیقات مستمر بر روی این ماده در حال انجام می باشد تا با کشف خصوصیات جدید آن، زمینه استفاده از این ویژگی ها فراهم شده و زندگی بهتر را برای انسان فراهم سازند.

کلمات کلیدی: بتن ، بتن عبور دهنده نور ، الیاف نوری ، لایتراکان

۱- مقدمه:

امروزه بتن به عنوان ماده ای بسیار مهم و پرکاربرد در صنعت ساختمان سازی و پروژه های عمرانی در جهان به شمار می آید که از مواد زیر تشکیل شده است:

الف) سیمان

سیمان حدود ۷ تا ۱۵ درصد حجم بتن را تشکیل می دهد و اصلی ترین ماده بتن بوده و به عنوان چسباننده در بتن مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده پس از مخلوط با آب به صورت دوغاب سیمان یا خمیر سیمان درآمده و دوردانه ها را آغشته کرده و به هم می چسباند.

ب) سنگدانه (شن و ماسه)

سنگدانه ها حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل می دهد و نقش اساسی در عملکرد بتن دارد که به دو دسته دانه های درشت یا شن و دانه های ریز یا ماسه تقسیم می شود.

ج) آب



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

آب حدود ۱۴ تا ۲۱ درصد حجم بتن را تشکیل می دهد. آب با انجام واکنش هیدراتاسیون با اجزای اصلی سیمان، مقاومت لازم را در بتن فراهم کرده و علاوه بر آن با ایجاد روانی، کارایی، امکان ریختن و متراکم کردن بتن را فراهم می سازد. (د) مواد افزودنی (مضاف):

موادی هستند به صورت درصدی از وزن سیمان به بتن اضافه می شوند تا خصوصیات مورد نظر را در بتن ایجاد کنند مانند زودگیرکننده ها، دیرگیرکننده ها، کاهنده های آب (روان کننده ها) و حباب زاها بتن دارای مقاومت فشاری خوبی بوده ولی ضعف اصلی بتن مقاومت کم در برابر کشش است که این ضعف را می توان با قرار دادن میلگرد در ناحیه کشش و ایجاد بتن مسلح جبران نمود. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، یافتن فواید و کاربردهای جدید در خصوص بهره گیری بهینه از این ماده در حال انجام می باشد به عنوان مثال جهت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها، زیبایی ظاهری و... بتن جدیدی طراحی و ساخته شده که قابلیت انتقال نور از یک طرف به طرف دیگر را دارد و بتن عبور دهنده نور (بتن شفاف) نامیده می شود.

۲- بتن عبور دهنده نور:

این بتن برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ میلادی توسط یک معمار مجارستانی به نام آرون لوسنزی اختراع شده و به ثبت رسید او زمانی که ۲۷ سال داشت و در کالج صنعتی هنرهای زیبای استکهلم در حال تحصیل بود این ایده را مطرح کرد و در سال ۲۰۰۴ میلادی شرکت خود را به نام لایتراکان تاسیس نمود و با توجه به این که ایده نوینی را ارائه کرده بود استقبال خوبی از آن صورت گرفت. وی در سال ۲۰۰۶ با شرکت های بزرگ صنعتی به توافق رسید و تولید انبوه آن را آغاز نمود. امروزه با ترکیب بتن معمولی و الیاف نوری، یک نوع بتن جدیدی ساخته شده که به بتن عبور دهنده نور شناخته می شود. این بتن ، با ترکیب ۹۶ درصد بتن معمولی و ۴ درصد الیاف نوری ساخته می شود که به عنوان یک نوع ماده ساختمانی جدید با ویژگی های جالب و قابلیت های خاص شناخته می شود. در ضمن این بتن در سال های اخیر پیشرفت چشمگیری در زمینه تهیه و استفاده از آن صورت گرفته است. به دلیل این که این بتن روش خاصی برای ساخت دارد، هزینه تولید این نوع بتن در مقایسه با بتن معمولی خیلی زیاد است ولی زمان مورد نیاز برای تولید این بتن از بتن معمولی کمتر است. این بتن ظرفیت های زیادی در ایجاد فضاهای دلربا و چشم نواز و خیره کننده توام با کاهش مصرف انرژی الکتریکی می باشد. (لطیفی، مجید و همکاران، ۱۳۹۲: ۲)

برای تهیه این بتن یکی از عوامل تاثیرگذار که دارای اهمیت فوق العاده ای است مربوط به اختلاط آن می باشد به علت این که علاوه بر اجزای اصلی بتن، الیاف نوری که در انتقال پذیری نور نقش دارند نیز در این بتن استفاده می شود، اختلاط هرچه بهتر باعث می شود که حفره ها در این بتن کاهش یافته و انتقال نور بهتر صورت بگیرد. در این بتن همانند بتن های معمولی سیمان به عنوان ماده چسباننده و سنگدانه ها هم عضو فشاری و الیاف نوری هم نقش اجزای انتقال دهنده نور را بر عهده دارند. الیاف نوری مصرفی به کار برده شده از موادی تهیه می شوند که در انتقال امواج و صوت به کار برده می شوند. (عدالتی، محمود ، کریمی پور، آرش، ۱۳۹۳: ۳)

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۳- الیاف نوری:

به کارگیری حسگرهای الیاف نوری در سال های اخیر به طور موفقیت آمیزی در سازه ها صورت می پذیرد، این الیاف به خاطر ابعاد کوچکی که دارند قابلیت استفاده گسترده ای در اجزای های سازه ای دارند. الیاف نوری، الیافی هستند که عموماً از پلاستیک یا شیشه بوده و برای انتقال نور ساخته می شوند. با توجه به این که این الیاف دارای ویژگی های خاصی از جمله ابعاد کوچک، هدایت نور، ویژگی عدم تداخل الکترومغناطیسی و ضد خوردگی هستند، استفاده از الیاف نوری به طور گسترده در مواردی مانند ارتباطات و انتقال اطلاعات صورت می پذیرد. این الیاف رشته های دارای قابلیت انعطاف به اندازه قطر موی انسان می باشند. با استفاده از این نوآوری در انتقال می توان مقدار زیادی اطلاعات در فواصل طولانی را منتقل کرد. طول این الیاف حتی می تواند به حدود ۲۰ متر نیز برسد و نور را به راحتی عبور داده و منتقل کند. منابع نوری می تواند گسترده بوده و از نور مصنوعی مانند نور لامپ های الکتریکی و یا نور طبیعی مانند نور خورشید باشد، این نور وارد الیاف نوری شده و از این طریق به محل مصرف انتقال داده شود که با این روش نور به هر نقطه ای که در جهت تابش مستقیم آن نیست منتقل می شود. ویژگی مهم این نور آن است که تولید گرما و یا تشعشعات ماورای بنفش نمی کند و با این فناوری می توان نور خورشید را به داخل ساختمان و مکان هایی که به نور آفتاب دسترسی ندارند، منتقل نمود. (شکل شماره ۱)



شکل شماره (۱): الیاف نوری

اجزای مختلف الیاف نوری

یک رشته الیاف نوری از اجزای متفاوت زیر تشکیل شده است:

الف) هسته

هسته نازک شیشه ای در مرکز الیاف که سیگنال های نوری در آن حرکت می کنند.

ب) روکش

بخش خارجی فیبر بوده که دور تادور هسته را پوشانده و باعث می شوند نور منعکس شده به هسته باز گردد.

ج) بافر رویه

روکش پلاستیکی که باعث می شود الیاف در برابر رطوبت محافظت شود.



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

مزایای الیاف نوری نسبت به سیم های مسی:

قیمت

این الیاف از لحاظ قیمتی نسبت به سیم های مسی ارزاتر هستند.

ضخامت

این الیاف نسبت سیم های مسی نازک تر می باشند.

ظرفیت بالا

پهنای باند الیاف نوری جهت ارسال اطلاعات خیلی بیشتر از سیم مسی است .

تضعیف ناچیز

در الیاف نوری تضعیف سیگنال خیلی کمتر از سیم مسی می باشد .

برخلاف سیگنال های الکتریکی، سیگنال های نوری در یک سیم مسی، تأثیری بر الیاف دیگر ندارند.

مصرف برق پایین

سیگنال ها در الیاف نوری کمتر تضعیف می شوند، در نتیجه استفاده از فرستنده هایی با میزان برق مصرف پایین تر نسبت به

فرستنده های الکتریکی که از ولتاژ بیشتری بهره می نمایند، مقدور خواهد بود. (رضوانی، مهرناز و همکاران ۱۳۹۹: ۵)

۴- خصوصیات بتن عبور دهنده نور:

به دلیل این که این محصول از الیاف شیشه ای که به صورت موازی قرار گرفته اند، ساخته می شود، نور را از یک طرف به طرف دیگر به صورت نقطه های متوالی و کوچک انتقال می یابد، سایه ها بر روی سطوح شفافتر با شدت بیشتری نسبت به سطوح تیره تر به نظر می رسند، بنابراین زمانی که نور بر روی نقاط مختلف محصول منعکس می شود اثرات مختلفی را در پی خواهد داشت. قطر این الیاف از دو میکرون تا دو میلی متر می تواند متغیر باشد، که با استفاده از الیاف با قطرهای مختلف طراحان این بتن می توانند اثرات روشنایی متفاوتی را به وجود آورند. اگرچه تغییر در ابعاد و اندازه بلوک ها تغییری را ایجاد نمی کند ولی با این حال این بتن تیر های بتنی پیوسته را ایجاد می کند که این الیاف، نور را به تمام طول انتقال می دهند. اندازه و ترتیب الیاف در هر بلوکی لزوماً مشابه نبوده و می تواند متفاوت باشد و این ترتیب قرار گرفتن می تواند منظم یا طبیعی باشد. اصول کاربردی برای این تولید این محصول صرفاً به شکل بلوک های پیش ساخته می باشد. پیچیدگی در پیوستگی رشته الیاف در سرتاسر بلوک از یک سطح به سطح دیگر امکان استفاده از آن به عنوان ماده قابل ساخت در محل را غیرممکن می کند. این حقیقت که محصول نمی تواند در محل استفاده تهیه شود، یک از عوامل محدود کننده کار می باشد، و طراحی و ساخت این ماده به دقت تولید و ساخت بسیار بالا نیازمند می باشد و مقدمات و اصول صحیح را طلب می کند. حصول اطمینان از یکپارچگی و دقیق قرار گرفتن رشته های نوری خیلی مهم می باشد، که این موضوع برای شرکت های سازنده دارای اهمیت فوق العاده ای می باشد چون اگر این الیاف در داخل محصول شکسته شده و یا پیوستگی خود را به هر دلیلی از دست بدهند، توانایی انتقال نور حتماً قطع خواهد شد و عملاً این بتن کارایی خود را از دست می دهد. بتن عبوردهنده نور می تواند در انواع جزای ساختمان از جمله قطعات تیر، راه پله ها، پوشش دیوار، جدا کننده اتاق و سایر موارد نیز استفاده شود. (قهرمانی فر، ستار و همکاران، ۱۳۹۶: ۷)

۵- ویژگی های فنی:

بتن عبور دهنده نور تولید شده با چگالی ۲۴۰۰-۲۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری ۵۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع و مقاومت کششی ۷ نیوتن بر میلیمترمربع در بازار عرضه می گردد. الیاف استفاده شده در بتن، قادر به انتقال نور در بتنی به



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

ضخامت ۲۰ متر می باشد. همچنین استفاده از الیاف نوری در اجزای باربر سازه ای بدون ایجاد بار منفی در مقاومت بالای فشاری و کششی آن قادر است اثری خوب با ایجاد محیط هایی جذاب و روشن داشته باشد. در ضمن با توجه به خاص بودن طرح اختلاط این بتن، امکان اجرای آن بصورت بتن در کارگاه وجود ندارد. (مطلبی نویدهی، سیامک، ۱۳۹۶: ۲)

۶- مقایسه بتن معمولی با بتن عبوردهنده نور:

الف) از لحاظ فنی

طبق تحقیقاتی که در دانشگاه کرسل در فیلا دلفیا صورت گرفته عملکرد این محصول در ساختمان های با سازه بتنی و فلزی به طور مشخص کمتر از بتن معمولی است. آزمون دقیق و استاندارد نشان داده است که بتن معمولی بار بیشتری را نسبت به این تحمل می کند. کاربرد این بتن همانند بتن معمولی می باشد و می توان هم در ساختمان های بتنی و هم در ساختمان های فلزی استفاده نمود. از آن جا که این بتن قابلیت ریخته شدن در محل را ندارد، از لحاظ اجرایی یک عامل محدود کننده برای آن محسوب می شود. بتن معمولی قابلیت استفاده در هر نوع اسکلتی به عنوان عضو سازه ای را دارد ولی این بتن به دلیل این که پیش ساخته می باشد در ساختمان ها با اسکلت بتنی به عنوان عضو سازه ای مانند ستون ها نمی توان به کار برد. این بتن با توجه به وزن حجمی کمی که دارد باعث می شود که بارهای مرده سازه کاهش یافته و در نتیجه بار ناشی از زلزله نیز کاهش یابد و در نتیجه در برابر زلزله عملکرد بهتری نسبت به بتن معمولی خواهد داشت. ذکر این نکته ضروری است که در صورت استفاده از بتن های سبک یا فوق سبک برای ساخت این بتن وزن حجمی آن به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد.

ب) هزینه تولید:

هزینه های تولید این بتن در مقایسه با بتن معمولی نسبتا بالا است ولی در صورتی که به صورت مدرن و صنعتی و در مقیاس زیاد تولید شود مقرون به صرفه خواهد شد.

در ضمن با توجه به این که قالب این بتن به علت قرارگیری الیاف در بتن با قالب بتن معمولی متفاوت است و ساخت این قالب ها به دقت و هزینه بالاتری نیاز دارد.

ج) زمان تولید:

زمان گیرش این بتن به دلیل ویژگی ساختار خاص آن خیلی کمتر از بتن معمولی است. این موضوع منجر به افزایش سرعت کار نسبت به بتن معمولی می شود.

د) از لحاظ اجرا:

به دلیل این که این بتن نمی تواند در محل ریخته شود این موضوع یک عامل محدود کننده می باشد، ولی با این اوصاف یک ماده با دقت بسیار بالا در تولید می باشد و نیازمند مقدمات و اصول اولیه ساخت خاصی می باشد.

از آنجا که این محصول شامل ۹۶ درصد بتن می باشد، تعمیر و نگهداری این محصول همانند بتن های معمولی می باشد. سطح بیرونی این بتن نسبت به بتن معمولی با در نظر گرفتن دانه بندی و دقت زیاد ساخت کاملا همگن می باشد.

از بتن عبور دهنده نور می توان به عنوان یکی از مصالح بهینه انرژی یاد کرد. با در نظر گرفتن شاخصه عایق بودن زیاد، می تواند در وضعیت آب و هوایی خشک مورد استفاده قرار گیرد و امکان استفاده از نور خورشید را نیز دارد. این خصوصیت بتن عبور دهنده نور بطور قابل ملاحظه ای باعث متمایز شدن این بتن از بتن معمولی می شود. (غلامرضا، هوایی، منصور، محسن، ۱۳۹۳: ۹)

۷- موارد استفاده:

الف- دیوار:

بیشترین موارد استفاده از این بتن در ساختن دیوارها می باشد به این ترتیب که هر دو سمت و همچنین ضخامت این ماده جدید قابل مشاهده خواهد بود. بنابراین سنگینی و استحکام بتن به عنوان ماده اصلی بتن عبور دهنده نور بیشتر احساس می

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

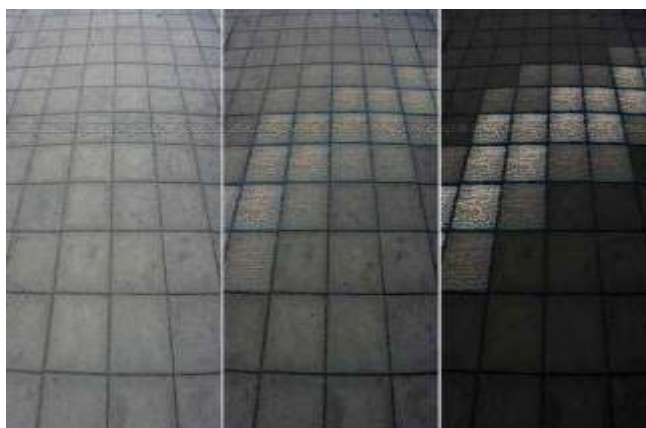
شود و در عین حال انتقال بین نور و ماده تشدید خواهد شد. در ضمن این ماده را می توان برای دیوارهای خارجی نیز مورد استفاده قرار داد و در صورت مسلح کردن این ماده به علت استحکام، این ماده را می توان برای ساختن دیوارهای باربر هم استفاده کرد. (شکل شماره ۲)



شکل شماره (۲) : استفاده از بتن در دیوار

ب- کف پوش ها:

وقتی که این نوع بتن به عنوان پوشش کف مورد استفاده قرار می گیرد، یکی دیگر از خصوصیات جالب خود را نمایان می سازد. از زمان طلوع آفتاب و در طول روز وقتی که نور به این بتن تابیده می شود همانند یک بتن معمولی به نظر می آید ولی هنگام غروب بلوک های کف در رنگ های انعکاس یافته از نور به زیبایی هرچه تمام تر شروع به درخشیدن می کند. (شکل شماره ۳)



شکل شماره (۳) : استفاده از بتن در پوشش کف

ج- طراحی داخلی:

از بتن عبور دهنده نور می توان در طراحی داخلی برای روکش دیوارها استفاده کرد در صورتی که این دیوارها از پشت، نور پردازی بشوند می توان از نورهای متنوع و رنگی زیبا برای ایجاد حالت فضایی مد نظر استفاده نمود. در دکوراسیون داخلی نورپردازی و ایجاد حس در یک محیط یک اصل مهم و غیر قابل انکار می باشد. این بتن در این زمینه به کمک طراحان داخلی ساختمان می آید. این ماده جالب می تواند به صورت بلوک یا تابلو و در رنگ های مختلف جلوه ای زیبا و خاص به محیط

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

درونی ساختمان ببخشد. در حال حاضر بتن عبور دهنده نور در سه رنگ سیاه، سفید، خاکستری در بازار موجود می باشد. با این اوصاف از این ماده جدید می توان در زمینه های مختلف طراحی و هم چنین در به وجود آوردن فضاهای زیبا و جلوه های خاص داخل زیاد مورد استفاده قرار داد. (شکل شماره ۴)



شکل شماره (۴) : استفاده از بتن در طراحی داخلی

د- لامپ لایتراکیوب:

یکی از محصولات جالب و نوآورانه در زمینه طراحی، لامپ لایتراکیوب می باشد که در آن بلوک ها با قرار گرفتن روی هم مکعبی را تشکیل داده و منبع نور در داخل آن قرار می گیرد و نور با عبور از بتن به بیرون ساطع شده و اثر زیبایی را خلق می کند. (شکل شماره ۵)



شکل شماره (۵) : لامپ لایتراکیوب



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

ه- کاربرد در هنر:

با تولید بتن عبور دهنده نور یکی از آرزوهای دیرینه مهندسان و معماران به تحقق پیوسته است. تصاویر ایجاد شده در این نوع بتن تصاویر شگفت انگیزی را در ذهن بیننده ایجاد می کند. به عبارت دیگر با نوعی برخورد جالب و درخور توجه محتوای درون در ارتباط با محیط پیرامون قرار می گیرد و به این صورت بسیاری از هنرمندان متمایل به استفاده از این بتن در کارهای جدید خود هستند. به طور کلی با پیشرفت ها و تکنولوژی های جدید و ارائه نوآوری طراحان با ابزارهای جدید و مختلف قابلیت این بتن توسط هنرمندان گوناگون در جهان مورد استفاده قرار گرفته است. (محمودی، مصطفی، مرشد، رضا، ۱۳۹۱: ۷)

۸- نتیجه گیری:

با توجه به کاربرد گسترده بتن در صنعت ساختمان سازی، استفاده از تکنولوژی و فن آوری های نوین نیز در بتن نیز در حال افزایش است. یکی از این تکنولوژی ها، استفاده از الیاف نوری و ساخت بتن عبور دهنده نور (شفاف) می باشد که علاوه بر این که در اکثر قسمتهای ساختمان از جمله دیوار، کف و... قابل استفاده است با خلق جلوه های ویژه بصری، زیبایی و شکوه خاصی به ساختمان ها می دهد. بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان، انتقال نور از یک طرف به طرف دیگر، زیبایی ظاهری، کاربرد در تزئینات و دکوراسیون داخلی از مزایای این نوع بتن نسبت به بتن معمولی است. بتن شفاف نه تنها نور طبیعی بلکه انرژی حرارتی تولید شده از نور خورشید را انتقال می دهد. این بلوک ها می تواند منجر به کاهش زیاد در مقدار الکتریسیته استفاده شده برای نور ساختمان ها و بهینه سازی انرژی شوند. امروزه متخصصین در حال تحقیقات بر روی این نوع بتن هستند تا با استفاده از ویژگی های جدید آن در آینده استفاده برده و مقدمات زندگی بهتری را برای انسان فراهم آورند.

مراجع:

۱. رضوانی، مهرناز و همکاران، بررسی و تحلیل مشخصات بتن لایتراکان (بتن شفاف)، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، سازه و زلزله، تهران، مهر ۱۳۹۹
۲. عدالتی، محمود، کریمی پور، آرش، بررسی ویژگی ها و نحوه ساخت بتن شفاف هوشمند، شیراز، مرداد ۱۳۹۳
۳. قهرمانی، فرستار و همکاران، طراحی مدارس سبز با به کارگیری مصالح نوین (بتن شفاف)، تهران، دی ۱۳۹۶
۴. لطفی، مجید و همکاران، بتن های شفاف، شهریور ۱۳۹۲
۵. محمودی، مصطفی، مرشد، رضا، بتن شفاف انتقال دهنده نور، خرداد ۱۳۹۱
۶. مطلبی نویدهی، سیامک، بررسی اصول کیفی، ساخت و اجرای بتن های شفاف، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، مرداد ۱۳۹۶
۷. هوایی، غلامرضا، منصوری، محسن، بررسی ویژگی ها و کاربردهای بتن شفاف، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز ۱۳۹۳