International Conference on Civil Engineering
Architecture and urban infrastructure
29-30 July 2015, Tabriz , Iran

امکان سنجی استفاده از بتن سبک هبلکس در مقایسه با بتن معمولی در بهینه سازی مدارس استان خوزستان

محمد طالبی[1]*، مهدی مهدوی عادلی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، Korosh.keykhah@yahoo.com

۲- استادیار ، گروه عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد شوشتر ، شوشتر ، ایران ، Mehmahad@yahoo.com

چکیده

یکی از چالش های همواره مطرح در بهینه سازی سازه ها به منظور مواجهه با مخاطرات محیطی نظیر زلزله، محدودیت منابع مالی در کنار هزینه بالای استفاده از مصالح، تجهیزات و تکنولوژی است. رهیافت های مختلفی در این رابطه مدنظر قرار گرفته که یکی از مهمترین و در عین حال کارآمدترین آنها، استفاده از بتن سبک هبلکس می باشد. این نوع بتن بدلیل وزن مخصوص کمتر و مقاومت فشاری بیشتر آن در مقایسه با بتن معمولی علاوه بر کاهش بار مرده ساختمان از نیروی وارد به سازه در اثر شتاب زلزله می کاهد. در این پژوهش به امکان سنجی استفاده از بتن سبک هبلکس در مقایسه با بتن معمولی در بهینه سازی مدارس استان خوزستان پرداخته شده است. به همین منظور نمونه هایی بتنی با بتن معمولی و بتن هبلکس ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفته اند. نتایج پژوهش نشان می دهد که مقاومت فشاری بتن هبلکس در مقایسه با بتن معمولی در نمونه های بررسی شده ۱.۸۹ برابر بیشتر بوده است. همچنین مشخص گردیده که میزان تنش و کرنش وارد شده به نمونه ها نیز در مقاطع مختلف کاهش داشته است. در مجموع به نظر می رسد که استفاده از بتن سبک هبلکس در مقایسه با بتن معمولی تا حدود زیادی به بهینه سازی و افزایش مقاومت ساختمان ها در مدارس استان خوزستان کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: بتن سبک هبلکس، بتن معمولی، بهینه سازی مدارس، استان خوزستان

۱- مقدمه

همواره یکی از دغدغه های اصلی در بخش ساخت و ساز و احداث پروژه های مختلف، توجه به استحکام سازه در برابر وجود بارهای ممکن بر روی بدنه سازه و نیز وجود مخاطرات محیطی نظیر وقوع زلزله بوده است. به همین منظور شاهد توسعه پژوهش ها و تحقیقات منسجم در زمینه افزایش استحکام در سازه ها بخصوص سازه های بتنی بوده ایم. در دهه های اخیر، تمرکز پژوهشگران در ایجاد نوع خاصی از بتن ها بوده که بتواند ضعف بتن های معمولی که ناشی از کم بودن مقاومت فشاری، ترک خوردگی، وزن بالا، انعطاف پذیری کم و ... را پوشش دهد. از اینرو شاهد معرفی نسل جدیدی از بتن های با قابلیت های بالا در مقایسه با بتن های معمولی بوده ایم. از جمله این بتن ها، می توان به بتن هبلکس اشاره کرد.

هبلکس مخلوطی از سیلیس، سیمان، آهک و پودر آلومینیوم در حرارت ۲۰۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۲ اتمسفر در اتوکلاوها پخته و به قطعات مورد نیاز ساختمانی بریده می‌شود. بتن هبلکس دارای ویژگی های منحصر بفردی است که سبب تمایز آن از بتن های معمولی شده است. سبکی وزن، عایق حرارات و برودت، عایق صدا، استحکام و پایداری در مقابل زلزله و آتش سوزی، حمل و نقل آسان و با صرفه، اجرای سریع از مهمترین و بارزترین مزایای بلوک های هبلکس می‌باشد[۱].

با توجه به مبحث ۱۸ و ۱۹ آیین نامه مقررات ملی ساختمان به منظور محاسبه ایمنی ساختمان ها در برابر زلزله، بکارگیری مصالح سبک وزن، مناسبترین و باصرفه ترین شیوه برای افزایش ایمنی ساختمان ها می‌باشد بطوریکه بلوک های هبلکس تأمین کننده این مزیت فنی می باشد.

پروژه های ساختمانی با استفاده از بلوک های هبلکس با در نظر گرفتن سرعت اجرا، نیروی اجرایی کمتر و مصرف ملات کمتر و همچنین کاهش زیاد بارهای وارده به سازه به دلیل وزن کم دیوارهای از نوع بتن سبک هبلکس موجب کاهش ابعاد سازه می‌شود که خود صرفه جویی قابل ملاحظه ای را در هزینه مصالح مصرفی موجب می گردد[۲].

عایق بودن هبلکس در برابر گرما و سرما علاوه بر صرفه جویی چشمگیری که در فضاهای تاسیساتی و سطح حرارتی برودتی موجب کاهش قابل ملاحظه در مصرف انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش ساختمان در آینده خواهد شد[۳].

نتایج پژوهش ساموئل ۲۰۱۳ نشان می دهد که میتوان با استفاده از دانه های سبک هبلکس، به بتن سبک سازه ای در ۲۰۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب با مقاومت فشاری مکعبی از ۳۵ تا ۷۸ مگاپاسکال دست یافت. همچنین محدودهٔ وزن مخصوص خشک ۱۶۵۰ ملاحظه گردید که نقش سیلیس در بهبود خواص مکانیکی بتن دانه سبک هبلکس قابل ملاحظه است[۲].

تحقیقات لی ۲۰۱۳ نشان داده است که بتن هبلکس به دلیل عمر طولانی‌تر در دراز مدت از بتن معمولی ارزان‌تر است. این در حالی است که بتن متعارف دارای مشکلات بسیاری از جمله نداشتن دوام و پایداری، شکست در اثر بارگذاری شدید و هزینه‌های تعمیر در اثر شکست است[۴].

۲- بررسی مبانی بتن سبک سازه ای:

بتن های سبک سازه ای بتن هایی هستند که علیرغم دارا بودن چگالی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگاپاسکال دارند. ساخت این بتن ها صرفاً با استفاده از سنگدانه های سبک و مقاوم امکان پذیر است. تمام بتن های سبک سازه ای از خانواده بتن های سبکدانه می باشند که در آن برای کاهش وزن مخصوص بتن از سنگدانه های سبک استفاده شده است. به این دلیل بعضاً از عبارات بتن سبکدانه و بتن سبک سازه ای برای بیان یک مفهوم استفاده می شود. در بتن‌های سبکدانه سازه‌ای از سنگدانه‌هایی استفاده می‌شود که بتن ساخته شده مقاومتی بیش از ۱۷ مگاپاسکال و جرم مخصوصی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب را دارا باشد. سنگدانه‌هایی که این شرایط را عموماً برآورد می‌کنند و طبق استاندارد ASTM-C330 برای ساخت بتن سبک سازه‌ای مورد استفاده قرار می گیرند[۵].

۲-۱- بتن سبک هبلکس:

این نوع بتن در نتیجه یک واکنش شیمیایی که گاز را در ملات تازه ایجاد می کند ساخته میشود. این بتن هنگامی که سخت می شود شامل تعداد زیادی حباب های گازی می باشد. بتن گازی یا بتن هوادار اتوکلاوه شده بعلت وزن کم وخواص عایق بندی حرارتی باعث کاهش جرم ساختمان و صرفه جویی در مصرف انرژی می گردد. بدین لحاظ کاربرد آن در سطح جهان در گسترش می باشد. از خواص عمده بتن گازی وزن مخصوص کم، مقاومت مناسب عایق بندی حرارتی و مقاوم در برابر آتش قابل ذکر می باشد. از کاربردهای عمده بتن گازی برای کاربردهای نیمه سازه ای مانند پانل های سقف و دیوار مورد استفاده قرار می گیرند[۶].

کسب مقاومت فشاری در حد مقاومت سازه ای با استفاده از بتن سبک حاوی لیکا امکان پذیر است به کارگیری میکرو سیلیس در ساخت نمونه های بتن سبک باعث افزایش مقاومت فشاری می گردد. استفاده از میکروسیلیس باعث کاهش جذب حجمی و جذب مویینه بتن سبک حاوی لیکا میشود. جمع شدگی ۹۰ روزه بتن سبک حاوی لیکا به کارگیری میکروسیلیس کمتر از نمونه شاهد می باشد. بافت متخلخل دانه های لیکا که از انبساط خاک رس و در نتیجه ایجاد و محبوس شدن گازها در توده خمیری روان در دمای حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد بوجود می آید، از خصوصیات اساسی این دانه ها می باشد[۱].

۳- بررسی و تحلیل نیرو های وارده بر بتن:

۳-۱- بررسی و تحلیل فشاری بتن:

این تحلیل متداول ترین تحلیلی است که در مورد کیفیت بتن، از لحاظ مقاومت صورت می گیرد.
آزمون مقاومت فشاری باید توسط بلوک های کامل ساخته شده از بتن سبک که در هوا خشک گردیده(مقدار رطوبت باید ۵ تا ۱۵ درصد وزنی باشد)، انجام گیرد. بلوک های بلندتر از ۵۰۰ میلیمتر می تواند توسط برش مساوی از دو انتهای آن تا ۴۹۰ میلیمتر کوتاه گردند، آزمونه هایی که مقدار رطوبت آنها بالای ۱۵ درصد وزنی هستند باید در دمای حداکثر ۶۰ درجه سلسیوس خشک گردیده تا به رطوبت نسبی مورد درخواست برسد[۷].

$$Bst=Bpr\ .F \qquad (۱)$$

Bst : مقاومت بلوک
Bpr: مقاومت بدست آمده در آزمونه بلوک
P : ضریب شکل که در جدول ۴ داده شده است.
با استفاده از حداکثر نیروی وارده F که از آزمون محاسبه شده است نسبت به سطح مقطع A ، میتوان Bpr را محاسبه نمود.

$$Bpr=\frac{F}{A} \qquad (۲)$$

۳-۲- تحلیل کشش غیر مستقیم:

این تحلیل بر روی نمونه های استوانه ای انجام می گیرد. شرایط تهیه و نگهداری این نمونه ها عیناً مانند نمونه های فشاری است. تنش گسیختگی از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$Fsp=Fct=T=\frac{2P}{\pi LD} \qquad (۳)$$

T ، تنش گسیختگی بر حسب Kgf/cm^2
P ، حداکثر بار وارده توسط دستگاه برحسب Kgf
L ، طول نمونه بر حسب cm
D ، قطر نمونه بر حسب cm
برای نمونه مورد آزمایش داریم:
برای تبدیل نیرو از مگاپاسکال به کیلو نیوتن از تبدیل زیر استفاده می شود:
(قرائت گیج ×۱۰.۱۵۴) = بارتصحیح شده بر حسب کیلو نیوتن
P = (10/154×9.28) – 5 = 89/299 KN = 89299 N

$$Fsp=Fct=T=\frac{2P}{\pi LD} \qquad (۴)$$

$$\frac{2\times 89299}{\pi\times 302\times 156.2} = 1.2\ \frac{n}{mm^2} = 12\ \frac{kgf}{cm^2}$$

۳-۳- تحلیل خمشی بتن:

این تحلیل بر روی نمونه های مکعب مستطیل شکل و به منظور تعیین تاب کششی آن در خمش روی نمونه های منشوری صورت می گیرد.

حال مقاومت کششی بتن را در خمش (مدول گسیختگی) از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\Rightarrow Fr = \frac{pl}{bh^2} \quad \mathrm{Fr} = \frac{MC}{I} = \frac{\frac{PL}{6}\times\frac{h}{2}}{\frac{1}{12}\times b\times h^3} \qquad (۵)$$

Fr ، مدول گسیختگی بر حسب N/mm^2

P ، حداکثر بار وارده توسط دستگاه برحسب N

L ، طول فاصله دو تکیه گاه نمونه بر حسب mm

b ، عرض نمونه بر حسب mm

h ، ارتفاع نمونه بر حسب mm

تکیه گاهها را در فواصل ۱۵ سانتی متری از دو سر نمونه قرار می دهیم. بنابراین طول اثر این تحلیل ۲۵/۴۶ سانتی متر خواهد بود.

$$\Rightarrow \mathrm{Fr} = \frac{pl}{bh^2} = \frac{21400\times 462.5}{156\times 157^2} = 2.57 \frac{n}{mm^2} = = 25.7 \frac{kgf}{cm^2}$$

این مقدار برای نمونه ۷ روزه می باشد، که حداکثر مدول گسیختگی برابر $45.89 \frac{kgf}{cm^2}$ خواهد بود.

۴- بررسی روش انجام پژوهش:

این پژوهش با بررسی امکان سنجی استفاده از بتن سبک هبلکس در مقایسه با بتن معمولی در بهینه سازی مدارس خوزستان صورت گرفته است. به همین منظور روش انجام این پژوهش کاربردی بوده و روش گرد آوری اطلاعات به صورت میدانی می باشد. در این پژوهش به شبیه سازی و ارزیابی شرایط امکان سنجی استفاده از بتن سبک هبلکس در مقایسه با بتن معمولی در بهینه سازی سازه پرداخته شده و ضمن اعمال شرایط مختلف بار، نیروهای وارد شده به بتن های بلوکی را مورد بررسی قرار داده است.

همچنین ضمن شبیه سازی دو نوع سازه بتنی با بلوک های بتنی که در یکی از آنها از بلوک هبلکس و در دیگری از بلوک های بتن معمولی استفاده شده است، به بررسی رفتار سازه در برابر بارهای فشاری، کششی و خمشی ناشی از رخداد اعمال نیرو پرداخته می شود. در نهایت نتایج تحقیق با تحقیقات دیگر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

انتخاب بلوک های مورد بررسی:

در این پژوهش ما از دو بلوک بتنی هبلکس و بتن معمولی با مقاومت فشاری، کشش و خمشی ویژه و مخصوص به خود استفاده شده و در این رابطه محقق به دنبال این موضوع است که با توجه به نیروهای وارد شده، مقاومت فشاری، کششی و خمشی این دو بتن مورد بررسی قرار گیرد. قالبهای هبلکس در مرحله پخت وارد اتوکلاوها می شوند و به مدت ۱۳/۵ساعت در حرارت ۲۰۰ درجه سانتی گراد و با فشار ۱۲ اتمسفر پخته و عمل آوری می شوند. اکنون قالبها با گذشت ۱۳/۵ ساعت در اتوکلاوها و پخت کامل به بخش بارانداز محصولات آماده تحویل انتقال می یابند تا به تدریج به بازار مصرف عرضه شود.

همانگونه که پیش تر گفته شد آنچه که مشخصه بارز و شاخص هبلکس یا بتن سبک می باشد، استحکام لازم، کاربرد سریع در ساختمان سازی، سبک و شکل پذیر بودن، عایق بودن در مقابل سرما، گرما و صدا، صرفه جویی در ملات مصرفی و در نهایت ارزان بودن آن در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی است و می توان نتیجه گرفت که استفاده از بلوکهای ساختمانی هبلکس وزنی سبک تر، سرعتی بیشتر و مصالحی کمتر را در پی دارد. در هبلکس به لحاظ داشتن تخلخل عمل تبخیر به آسانی انجام می شود. با توجه به آئین نامه جدید محاسباتی و ایمن سازی ساختمانها در برابر زلزله تنها راه حل صرفه جویی در مقابل کاربرد مصالح و افزایش ایمنی بکارگیری مصالح سبک وزن می باشد که بنای سبک یا هبلکس شاخص این مزایاست. یک متر مکعب هبلکس۶۰۰۰ کیلوگرم وزن دارد که برابر با ۱۰۰۰ عدد آجر معمولی به وزن ۲ تن است[۶].

۵- بررسی نتایج آزمایش :

۱- بلوک های هبلکس :

شماره نمونه	طول mm	عرض Mm	ارتفاع mm	سطح مقطع mm^2	حجم نمونه mm^3	وزن نمونه Kg	نیروی P Mpa	نیروی P N	مقاومت فشاری N/mm^2	مقاومت معدل N/mm^2
۱	۱٤۹.۱	۱٤٦.٥	۱٥۳	۲۱۸٤۳.۱٥	۳۳٤۲۰۰۱	۳.٥	۳۱	۳۰۹۷۷٤	۱٤.۱۸	۱۳.۷۰

۲- تنش گسیختگی :

شماره نمونه	طول cm	قطر cm	نیروی P Mpa	تنش گسیختگی Kgf/cm^2
۱	۳۰.۲	۱٥.۶۲	۹.۲۸	۱۲

در بررسی جدول فوق، می توان به این نتیجه رسید که نیروی P در بلوک های بتنی هبلکس به میزان ۳۱ مگاپاسکال بوده و نیروی P به N در بلوک های بتنی هبلکس معادل ۳۰۹۷۷۴ می باشد. در این بررسی مشخص گردیده که سطح مقاومت فشاری معادل $14.18\ N/mm^2$ می باشد.

۳- بلوک های معمولی :

شماره نمونه	طول mm	عرض mm	ارتفاع mm	سطح مقطع mm^2	حجم نمونه mm^3	وزن نمونه Kg	نیروی P Mpa	نیروی P N	مقاومت فشاری N/mm^2	مقاومت معدل N/mm^2
۱	۱۴۹.۳	۱۴٥.٥	۱٥۱	۲۱۷.۲۳	۳۲۸۰.۲	۹.٥	۷.۸	۸۷۷٥۱	۳.۳۶	۴.۲

در بررسی جدول فوق می توان به نتیجه رسید که نیروی P در بلوک های بتنی معمولی به میزان ۷.۸ مگاپاسکال بوده و نیروی P به N در بلوک های بتنی معمولی معادل ۸۷۷٥۱ می باشد. در این بررسی نشان داده شده که سطح مقاومت فشاری معادل $3.36\ N/mm^2$ می باشد.

۴- تنش گسیختگی :

شماره نمونه	طول cm	قطر cm	نیروی P Mpa	تنش گسیختگی Kgf/cm^2
۱	۳۰.۲	۱۵.۶۲	۲.۵۴	۴

۵- وزن مخصوص بتن معمولی و بتن هبلکس :

ردیف	سیمان Kg/m^3	ماسه Kg/m^3	Leca Kg/m^3	W/C Kg/m^3	دوده سیلیس Kg/m^3	وزن مخصوص Kg/m^3	مقاومت فشاری سیلندری Kg/cm^2	
							۷ روزه	۲۸ روزه
۱	۳۵۰	۵۳۰	٤٤٠	۰.۵	۲۰	۱۵۱۵	۱۱۰	۱۵۹
۲	۳۰۰	۵۲۰	۵٤۳	۰.٦	۱۵	۱۵۵۸	۱۱۷	۱٦۷
۳	۳۰۰	۷۵۰	٤۱۰	۰.٦	۲۰	۱٦٦۰	۱۲۳	۱۷۸
٤	۳۰۰	۵۵۰	٤۹۰	۰.٦	–	۱۵۲۰	۷۰	۷٦

۶- نتیجه گیری :

بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و مدل انجام شده نتایج زیر بدست آمده است :

۱-با افزایش میزان سیمان مقاومت بتن افزایش می یابد.همچنین با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت بتن نیز افزایش یافته است.

۲-با افزایش مقاومت خمیر سیمان از مرز مشخصی در بتن سبک ساخته شده مکانیزم شکست تغییر می کند و سطح شکست از دانه ها عبور می کند و افزایش مقاومت ایجاد نمی گردد.

۳-افزایش نسبت ریز دانه به درشت دانه در بتن سبک افزایش مقاومت فشاری را به دنبال دارد.

۴-میزان خرد شدگی بتن و تحمل بارهای فشاری و کششی در بتن معمولی بسیار کمتر از بتن هبلکس بوده است.

۵-مقاومت بتن به جرم حجمی و نسبت آب به سیمان بستگی دارد.

۶-مطابق مدل مدول الاستیسیته بتن با افزایش جرم حجمی افزایش می یابد.

در این پژوهش مشخص گردید که با اعمال بارهای افقی و عمودی بر روی نمونه بلوک های هبلکس و معمولی، میزان خرد شدگی بتن و تحمل بارهای فشاری و کششی در بتن معمولی بسیار کمتر از بتن هبلکس بوده که این موضوع را می توان در مش بندی نواحی تحت فشار ملاحظه کرد. در بتن معمولی، ناحیه قرمز و نارنجی رنگ دارای تحمل فشار بسیار کمتری نسبت به بتن نواحی سبز و آبی بوده است. در مجموع برای بهینه سازی ساختمان های آموزشی که در این پژوهش بصورت خاص مدارس استان خوزستان مدنظر بوده است می توان گفت که سبکی سازه، سهولت و سرعت اجرای عملیات، استحکام و دوام بالا، عایق صوت و حرارت بودن و صرفه جویی در مصالح مصرفی بخشی از مزیت های استفاده از بتن سبک هبلکس در مقایسه با بتن معمولی می باشد و به نظر می رسد که در بهینه سازی مدارس استان خوزستان از بسیاری جهات برای استفاده توجیه بیشتری را در پی خواهد داشت.

مراجع :

[1] Zarnic R., Gostic S,.2006, Masonry infilled frames as an effective structural sub-assemblage, HEBLEX concrete Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Proceeding of the International Workshop Bled, Slovenia, 24-27 June 1997 , ISBN 90 5410 928 9, A.A. Balkema , Rotterdam, pp. 335-346.

[2] Abrams,D.P,2013,Proceeding from the NCEER Workshop on Heblex concrete Response of Masonry, Report No. NCEER-94-0004, National Center for Earthquake Engineering Research,State University of New York at Buffalo.

[3] Fardis,M.N (editor),2012, Experimental and numerical investigations on the Heblex concrete response of R.C.infilled frames and recommendations for code provisions,ECOEST and PREC8 Report No 6,LNEC,Lisbon,199 p.

[4] Crisafulli, F.J,Garr,A.J, Park,R.2013,Analytical modeling of infilled frame structures – a general review, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering V.33,N.1 (March)pp 38-47.

[5] FEMA 306,2010 , Evaluation of Earthquake-Damaged Concrete and Masonry Wall Building-Basic Procedure Manual,prepared by the Applied Technology Council (ATC-43 Project) , for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C (FEMA Publication No.306).

[6] Eurocode No.8 ,2008, Design of Structures for earthquake resistance –Part 1:General rules , Heblex concrete actions and rules for buildings, Draft no.4, Final Project Team Draft (Stage 34), European Committee for Standardization, Doc CEN/Tc250/SC8/N306.

[7] Park, Y.J., Reinhorn, A.M & Kunnath, S.K., 2012, IDARC :Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame -Shear-Wall Structures, Technical Report NCEER-87-0008, National Centre for Earthquake Engineering Research, Buffalo :SUNY.