نقش بتن سبک هوادار (فوم بتن) در عایق بندی حرارتی ساختمان

نویسنده : مهندس میراصغر هاشمی رنجبر

عنوان : مدیر عامل

محل کار : شرکت بتن سبک ساز

آدرس تبریز ـ جنب پلیس راه آذرشهر ـ جاده اخولا ـ کیلومتر ۲ ـ صندوق پستی ـ۵۵۴۳ ـ ۵۱۵۷۵ تبریز

تلفاکس :۲۴۰۳ ـ۲٦٦ ـ ۰٤۱۲ ـ همراه : ۳۰۱۱ ـ٤۱٤ ـ۰۹۱۱

چکیده :

نظر به تحقیقات بسیاری که در سطح دنیا در جهت عایق بندی جدارهای ساختمان صورت گرفته ـه بترین گزینه , انتخاب مصالح مرغوب ساختمانی در جدارهای خارجب بوده است و با توجه به استانداردهای مختلف ساختمانی بلوک های بتن سبک هوادار (بلوک های فوم بتن) و سیستم های ساندویچی فوم بتن , اغلب استانداردها را در خود جمع و در عین حال عایق بندی حرارتی ساختمان را عملی می سازد . لازم به ذکر است که فوم بتن به صورت قطعات پیش ساخته و یا بتن‌تر در کلیه جدارهای خارجی ساختمان (دیوار , سقف ,کف) قابل اجرا بوده و با رعایت دانسیته و ضریب انتقال حرارتی مورد نظر , ضخامت لازم پیش بینی و در هر شکل به اجرا می رسد .

در مقایسه مصالح ساخته شده با فوم بتن , و دیگر مصالح موجود در بازار ایران (بلوک سفالی , آجر فشاری , بلوک های سیپورکس و هپلکس) به این نتیجه می رسیم که مرغوب ترین مصالح ساختمانی با بتن سبک هوادار بخاطر دسترسی به دانسیته و مقاومت های مختلف ساخته می شود و در حال حاضر در سطح دنیا فوم بتن به عنوان بتن آینده جهان مطرح می باشد .

در حال حاضر بتن سبک هوادار در ساختمان های شهری و روستایی قابل استفاده می باشد .

الف ـ در ساختمان های شهری , اجرای جدارهای خارجی ساختمان به ضخامت ۱٦ سانتی متر با بلوک های پیش ساخته با دانسیته ۸۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب که دارای ضریب انتقال حرارتی $\lambda = ۰/۱۵(w.m^oc)$ می باشد , عایق بندی ساختمان را تامین می کند .

ب ـ در ساختمان های روستائی , پر کردن داخل بلوک های سیمانی معمولی با بتن سبک هوادار با دانسیته ٤۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب که دارای ضریب انتقال حرارتی $\lambda = ۰/۰۸(w.m^oc)$ می‌باشد, عایق بندی حرارتی ساختمان را تامین می کند .

مقدمه :

بحث صرفه جویی در مصرف سوخت در صنعت ساختمان و الزامی بودن رعایت عایق بندی حرارتی در ساختمان ایجاب می کند که شناسائی و بکارگیری مصالح مرغوب در سطح دنیا با توجه به امکانات منطقه ای مورد توجه قرار گرفته و با در نظر گرفتن روشهای اجرائی ساده , عدم تخریب طبیعت , وجود بلایای طبیعی مانند زمین لرزه , آتش سوزی , پایان انرژی ارزان و... مورد نظر قرار گیرد . در این رابطه جامعه مهندسی جهان به این نتیجه رسیده اند که مسکنی با خصوصیات ضد آتش , ضد پوسیدگی و حشرات , جاذب صوت , عایق حرارت , جذب آب پایی , مقاومت در برابر یخ زدگی و در کل راحت و مدرن بسازند که این نیت با شناسایی بتن سبک هوادار(Foamed light weight concrete)به واقعیت پیوسته است .

آقای کریستوفرالکساندر از جامعه آکسفورد پرس در کتاب " A pattern language "متذکر می شود : (ما مطمئن هستیم که بتن سبک هوادار بتن آینده جهان خواهد بود).

بتن سبک هوادار ماده ای هماهنگ و سازگار با طبیعت می باشد که تنها با مواد سنگی و سیمان تولید و با یک متر مکعب مواد فوق , ۲ متر مکعب بدست می آید. و این باعث توجه بیشتر متخصصین ساختمان در مصرف آن شده و از این طریق , توان صنعت ساخت و ساز ۲ برابر می گردد .

مشکل محدودیت منابع انرژی در دسترس , کم و بیش برای کلیه کشورها اعم از صنعتی , توسعه یافته و یا در حال توسعه جهان مشترک است . در کشورهای مختلف بسته به میزان فعالیت های صنعتی بین ۳۰ تا ۳۵% کل انرژی مصرفی در ارتباط با ساختمان استفاده می شود . ازاین میزان حدود ۵۰ تا ٦۰% آن صرف گرمایش و سرمایش ساختمان در فصول مختلف سال می گردد . این بدان معنی است که از کل انرژی مصرفی کشور بین ۱۵ تا ۲۰% به مصرف گرنایش و سرمایش فضای مسکونی داخل ساختمان ها می رسد , بنابراین اقدام هایی که در جهت ارتقاء کیفیت ساختمان از دیدگاه تبادلات حرارتی صورت می پذیرد منتج به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف کل انرژی در کشور می شود . نتیجه مطالعات کارشناسان مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در خصوص عملکرد عایق بندی حرراتی ساختمان بصورت ذیل جمع بندی گردیده است .

۱ـ انتقال حرارت از جداره های خارجی ساختمان به شکل هدایت , عمده ترین عامل اتلاف یا کسب حرارت در ساختمان های معمولی و بخصوص ساختمان های مسکونی است .

۲ـ جداره های خارجی ساختمان (دیوار , بام ,کف) که با استفاده از مصالح سنتی ساخته شده اند به تنهایی قادر به جلوگیری از این اتلاف حرارت نیستند .

۳ـ تبادل حرارتی بین ساختمان و محیط اطرافش به سرد شدن آن در زمستان یا گرم شدنش در تابستان منجر انجامد , جبران این تبادل حرارتی و ایجاد فضای مطلوب در ساختمانا تنها با استفاده از سیستم های حرارتی یا برودتی و صرف هزینه زیاد جهت تامین انرژی مصرفی این سیستم ها امکان پذیر است .

٤ـ علاوه بر بالا بردن هزینه سوخت , کیفیت آسایش در ساختمان هایی که با مصالح معمولی و با ضخامت های محدود بنا شده اند نیز نمی تواند رضایت بخش باشد .

۵ـ مصالح معمولی جدارهای خارجی در مقابل رطوبت مقاوم نبوده و نفوذ رطوبت به داخـل آنـا بـاعث مرطوب شدن و فرسودگی آنا می گردد .

برای جلوگیری از انتقال حرارت باید توجه داشت گر چه با افزایش ضخامت جدارهـای خـارجی ساختمان می توان تا حدودی میزان تبادل حرارتی این جدارها را کاهش داد اما در هر صورت ایـن افزایـش ضخامت در کل و بخصوص در مورد ساختمان های چند طبقه مقرون به صرفه نخوهد بود . بنابراین تنـها راه حل این مشکل اصلاح کیفیت جدارهای خارجی ساختمان یعنی استفاده از مصالح مرغوب در این اجزا است .

استفاده از بلوک های سبک بتنی در اجزای مختلف ساختمان علاوه بر مزایایی که در ارتباط با عـایق بندی حرارتی و صوتی دارد به جلوگیری از میعان بخار آب موجود در هوا در سطح یا در داخل مصالح اجـزای ساختمان نیز کمک می کند و با توجه به تاثیر رطوبت در افزایش ضریب هدایت حرارتی و بخصوص عایق های حرارتی که بسیار زیاد است نفوذ ناپذیر بودن بلوک های بتنی سبک هوادار در مقابل رطوبت , عـایق بنـدی حرارتی ساختمان رادر زمانای طولانی تضمین می‌کند.

در حال حاضر ساختمان هایی که با مصالح سنتی احداث شده اند , لزوم عایق بندی توسـط مصـالح دیگر عایق کاری رادارند و این خود مستلزم سرمایه گذاری با توجیه اقتصادی ذیل می باشد .

توجیه اقتصادی هر گونه سرمایه گذاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است , هزینه , سـود و زمـان برگشت سرمایه با نرخ بره وری سرمایه گذاری از فاکتورهایی هستند که معمولاً به عنوان عواملی موثـر در اخذ تصمیم در تحلیل هر نوع سرمایه گذاری می باشد که مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرند عایق بنـدی حرارتی ساختمان هم که مستلزم صرف هزینه اولیه بوده و انتظار می رود به بازدهی اقتصادی منتهی شود , نـیز از این قاعده مستثنی نبوده و بایستی از نظر اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد . اگر چه منافع عایق های حرارتـی بعضاً قابل برآورد کمی نیستند لیکن آنچه در وهله اول به ذهن می آید صرفه اقتصادی این سرمایه گذاری است .

در بررسی بازده اقتصادی عایق بندی یک واحد مسکونی به مساحت ۱۵۰ متر مربع بوسیله کـامپیوتر , این نتیجه حاصل گردیده که از نظر اقتصادی , عایق بندی حرراتی ساختمان کاملاً توجیه پذیـر بـوده و در صورت حذف سوبسید از بای انرژی جذابیت بیشتری برای سرمایه گذاری در زمینه عایق بندی ایجاد خواهـد شد و نتیجه قابل توجه دیگری که می توان از بررسی فوق بدست آورد این است که در اکثر مناطق بین ٤٠ تـا ٦٠% هزینه عایق بندی ساختمان بلافاصله و از طریق تقلیل هزینه های تیه تاسیسـات حرارتـی و برودتـی برگشت داده می شود و بقیه هزینه عایق بندی نیز بر حسب مورد بین ۲ تا٤ سال برگشت خواهد شـد و بـا افزایش قیمت انرژی زمان برگشت سرمایه کوتاهتر می شود .

در تعیین هزینه انجام شده برای عایق بندی حرارتی حدود ۲/۵% کل هزینه ساختمان را در نظر گرفته و با عنایت به کاهش قابل ملاحظه در ظرفیت سیستم های حرارتی و برودتی ساختمان با منظور کـردن ایـن صرفه جویی , سرمایه اولیه لازم برای عایق کاری را ازدرصد فوق نیز تقلیل می دهد .

عایق بندی حرارتی ساختمان ها صرفه جویی متوسطی معادل ۳۵% گرمایش سالیانه ٦٥% سـرمایش سالیانه را بدنبال داشته و از این طریق میلیاردها ریال صرفه جویی انرژی در سطح ملی حاصل می شـود . بـا

توجه به منافع بسیار عایق بندی حرارتی شایسته است گام های موثری از طرف مسئولین در جهت تدوین ایـین نامه حرراتی ساختمان های کشور در اسرع وقت برداشته شود .

بخاطر اهمیت مصالح ساختمانی در عایق بندی حرارتی جداره های خارجی ساختمان و شناخت اولیه از مختصات مصالح ساختمانی موجود در ایران مقایسه زیر را در ارتباط با ساختمان های شهری و روستائی ملاحظه فرمایید .

ساختمان های شهری :

اگر دمای داخل اتاق ۲۰°C + و دمای خارج اتاق ۱۰°C ـ باشد خواهیم داشت :

ΔT = ۳۰ °C (اختلاف دما)

ـ برای تعیین دمای سطح داخل اتاق از رابطه زیر استفاده می کنیم :

$$T_f = T_i - \Delta_{total} \times \frac{R_{film}}{R_{total}}$$

(Δ_{total} و R_{film} ثابت , T_f: دمای سطح داخلی اتاق, T_i: دمای داخلی اتـاق R_{total} : مقـاومت کلـی حرراتی دیوار , Δ_{total} اختلاف درجه فضای داخلی ساختمان با فضای خارج)

ـ اگر اختلاف دمای سطح داخلی دیوار با دمای داخل اتاق کمتر از ۳°C باشد , آسایش برقرار می‌باشد .

ـ ضریب هدایت حرارتی خارج گچ را ۳۵% و اندود ماسه و سیمان را ۱/۱۵ در نظر می گیریم .

ـ مقاومت حرراتی فیلم هوای سطح خارجی دیوار را ۰/۰۶ و مقاومت حرارتی فیلم هوای سطح داخلی دیوار را ۰/۱۱ در نظر می گیریم .

با در نظر گرفتن موارد فوق , خواهیم داشت :

الف ـ در دیوار به ضخامت۲۰cm با آجر فشاری خواهیم داشت : (λ= ۱/۱۵)

$$R_{total} = 0.11 + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.20}{1.15} + \frac{0.03}{1.15} + 0.06 = 0.46$$

$$T_f = 20 + 30 \times (\frac{0.11}{0.46}) = 12.83 \quad , \quad 20 - 12.83 = 7.17^o C > 3^o C$$

آسایش وجود ندارد .

ب ـ در دیوار به ضخامت ۲۰cm با آجر سفال خواهیم داشت : (λ =۰/۵۱)

$$R_{total} = 0.11 + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.20}{0.51} + \frac{0.03}{1.15} + 0.06 = 0.0.674$$

$$T_f = 20 + 30 \times (\frac{0.11}{0.674}) = 15.10 \quad , \quad 20 - 15.10 = 4.9^o C > 3^o C$$

آسایش وجود ندارد .

ج ـ در دیوار به ضخامت ۱۶cm با بلوک بتن سبک هوادار خوایم داشت : (λ=۰/۱۵)

$$R_{total} = 0.11 + \frac{0.16}{0.35} + \frac{0.1}{0.35} + \frac{0.01}{1.15} + 0.06 = 0.274$$

$$T_f = 20 + 30 \times (\frac{0.11}{0.274}) = 17.41 \quad , \quad 20 - 17.41 = 2.59^o C > 3^o C$$

آسایش وجود ندارد .

(ضخامت پلاستر بیرونی (ماسه و سیمان) و اندود گچ داخلی در دیوارهای با آجر فشاری و بلـــوک سفال۳ cm و در دیوار با بلوک بتن سبک هوادار۱ cmمنظور گردیده است).

(ارقام فوق از کتاب اتلاف حرارت و میعان در ساختمان های متداول و تدوین آیین نامـــه حرارتـی ساختمان و بینه سازی آن . از انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن نوشته آقای دکتر جمشید ریـــاضی می باشند).

توجیه اقتصادی :

برای توجیه اقتصادی استفاده از بلوک‌های سبک بتنی هوادار(B.S.S)به مقایسه زیر توجه می‌کنیم:

ردیف	اقلام هزینه ها	آجرفشاری	بلوک سفال	بلوک سیمانی	بلوک بتن سبک هوادارB.S.S
۱	مصالح	۱۷٦۰۰	۲۱۵۰۰	۲۷۵۰۰	۳٦۰۰۰
۲	ملات مصرفی	۳٦۰۰	۲٤۰۰	۲٤۰۰	۹٦۰
۳	حمل	۵٤۰۰	۳٦۰۰	۵٤۰۰	۲٤۰۰
٤	اجرا	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	٤۰۰۰
۵	سربار اضافی	۸۱۰۰۰	۵٤۰۰۰	۸۱۰۰۰	۰
٦	اتلاف مصالح	۵۷۹۰	۱۱۲۵۰	۹۰٦۰	۲۱٦۸
۷	اتلاف فضای ناشی از اندود اضافی	٤۰۰۰	٤۰۰۰	٤۰۰۰	۰
۸	اتلاف اضافی	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۰
۹	اتلاف حرارتی	۱۸۱۱۲۸۰	٤۰۰٦۰۸	۱۲۸٤۰۰۰	۱۵٤۰۸۰
۱۰	استهلاک سرمایش و گرمایش	۵۹۰٦٤۰	۲۰۰۳۰٤	٦٤۲۰۰۰	۷۷۰٤۰
۱۱	ترمیم تخریب ناشب از عملیات تاسیساتی	۲۲۲۰	٤۸۷۵	۵٤۳٦	۱۳٦٦
	جمع کل	۱۹۱۳۵۳۰	۷۲۲۵۳۷	۲۰۸۰۷۹٦	۲۷۸۰۱٤

جدول مقایسه هزینه های ناشی از بکارگیری مصالح ساختمانی موجود در بازار ایران بر مبنای ۱ دیوار و به ضخامت cm ۲۰ (هزینه ها به ریال)

(این جدول با فرض اینکه عمر مفید ساختمان همراه با سیستم گرمایش و سرمایش آن در حدود ۵۰ سال باشد تنظیم شده است).

۱ـ ابعاد آجر فشاری (cm^3) ۵ ×۲۰ ×۱۰ با قیمت واحد ۱۱۰ ریال (۱٦۰ قالب در یک متر مربع)
ابعاد بلوک سفال (cm^3)۲۰×۲۰×۱۰ با قیمت واحد ٤۳۰ ریال (۵۰ قالب در یک متر مربع)
ابعاد بلوک سیمانی (cm^3)۲۰×۲۰×۱۰ با قیمت واحد ۵۵۰ ریال (۵۰ قالب در یک متر مربع)
ابعاد بلوک B.S.S (cm^3)۲۵×٦۰×۲۰ با قیمت واحد ۵،۳۷۳ ریال (٦/۷ قالب در یک متر مربع)
۲ـ ملات مصرفی در واحد حجم آجر کاری۳۰% در بلوک سیمانی و سفال۲۰% و بلـــوکB.S.S ۸% منظور شده است . (ملات با عیار$۲۰۰kg/m^3$و قیمت سیمان ۲۰۰،۰۰۰ (تن/ ریال) و ماســـه ۲۰،۰۰۰ (متر مکعب / ریال)

۳ـ هزینه حمل یک تن کیلو متر را ۵۰۰ ریال منظور و فاصله حمل را ۳۰ کیلو متر در نظر می گیریم .

ـ دیوار با آجر فشاری ریال ۵،٤۰۰ = ۵۰۰×۳۰× $\frac{360}{1000}$

ـ دیوار با بلوک سفال ریال ۳،٦۰۰ =۵۰۰×۳۰× $\frac{340}{1000}$

ـ دیوار با بلوک سیمانی ریال ۵،٤۰۰ =۵۰۰×۳۰× $\frac{360}{1000}$

ـ دیوار با بلوک B.S.S ریال ۲،٤۰۰ = ۵۰۰×۳۰× $\frac{160}{1000}$

٤ـ دستمزد اجراء , نرخ متوسط روز در نظر گرفته شده است .

۵ـ وزن m^3 دیوار آجر فشاری $۳٦۰kg/m^3$

وزن $۱m^3$ دیوار بلوک سفالی $۲٤۰kg/m^3$

وزن $۱m^3$ دیوار بلوک سیمانی $۳٦۰\ kg/m^3$

وزن $۱\ m^3$ دیوار بلوک $۱٦۰kg/m^3$

برای محاسبه هزینه ناشی از اضافه وزن مصالح به ترتیب زیر عمل می کنیم :

ـ هزینه ساخت بر مبنای ۱ متر مربع زیر بنا را ٦۰۰،۰۰۰ ریال منظور می کنیم .

ـ دیوارهای خارجی را به میزان ۳۰% در درون ساختمان موثر در نظر می گیریم .

ـ با سبک سازی ساختمان (کف , دیوار , سقف) به میزان ۲۰% هزینه ساختمان کاهش می یابد .

ـ سطح دیوار خارجی را معادل سطح زیر بنای ساختمان در می گیریم .

با توضیحات فوق خواهیم داشت :

ـ هزینه اضافی ناشی از سربار با بلوک B.S.S را صفر منظور می کنیم .

ـ هزینه سربار اضافی دردیوار با آجر فشاری و بلوک سیمانی :

$$600000 \times 0/3 \times 0/2 \times \frac{360()}{160(B.S.S)} = 81000$$

ـ هزینه سربار اضافی در دیوار با بلوک سفالی

$$600000 \times 0/3 \times 0/2 \times \frac{240}{160} = 54000$$

٦ـ اتلاف مصالح شامل مجموع هزینه های (مصالح + ملات مصرفی + حمل + دستمزد اجرا) و برای آجر فشاری ۱۵%, بلوک سفال۳۰%,بلوک سیمانی۱۰% و بلوک B.S.S۵% منظور شده است.

۷ـ قیمت زمین را بطور متوسط ٦۰۰،۰۰۰ ریال منظور و برای تعیین هزینه سطح اشغال شده توسط یک متر مربع دیوار خارجی بر اثر ضخامت اندود کاری به ترتیب زیر عمل می کنیم :

با توجه به ضخامت اندود کاری در دیوارهای آجر فشاری و بلوک سفالی و بلوک سیمانی که حداقل ۳cm و در دیوار بلوک بتن سبک هوادار حداکثر۱cm می باشد , با احتساب ۲ سانتی متر اضافه سطح اشغال شده خواهیم داشت :

$$600000 \times \frac{1}{3} \times 0.02 = 4000$$

(یک متر طول دیوار خارجی مقدار $2cm^2$ کاهش سطح ایجاد می کند و این کاهش با در نظرگرفـتن انـدود کاری اضافی در جدارهای داخلی بیشتر می شود).

۸ـ در یک متر مربع دیوار خارجی ,۱ متر مربع اندودکاری برای ۱ طرف منظور و جمع هزینه های (گـــچ , دستمزد ,اجرا و زمان) به ازای۱cm ضخامت ۵،۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است .

برای تعیین هزینه ناشی از اتلاف حرارتی موارد ذیل را در نظر می گیریم :

ـ اتلاف حرارتی یک واحد ساختمانی را از طریق جدارهای خارجی ۷۰% در نظر می گیریم .

ـ نرخ برق مصرفی را ٦٤ ریال (حداقل نرخ کیلو وات ساعت) در نظر می گیریم .

در شرایط آب و هوایی ایران در فصل زمستان ۱۸۱۰ روز درجه سانتی گراد (^oCD) گرمـــایش و در فصـل تابستان ۸٦٥ روز درجه سانتی گراد سرمایش که مجموعا در یکسال برابر است با :

$۲٦۷٥=۸٦٥+۱۸۱۰^oCD$

که در تبدیل آن به ساعت × درجه سانتی گراد خواهیم داشت :

$$2675(^oCD)\frac{H\times 24}{D}=64200^oCH$$

ـ از مقاومت حرارتی فیلم های سطوح داخلی و خارجی صرفنظر می کنیم .

ـ مقاومت حرارتی با رابطه: $R=\frac{e}{\lambda}$ (e= ضریب هدایت حرارتی وλ = ضریب انتقال حرارتی با رابطـــه):

$K=\frac{1}{R}$ محاسبه می شود .

ـ هزینه سوخت مصرفی در فاصله زمانی ۵۰ سال (عمر مفید ساختمان) با استفاده از رابطه مقابل در جـدول زیر درج شده است .

$$K(w/m^2.^oC)\times 64200(^oCH)\times 0/064(RLS\quad W.H)\times 50(Years)=(X)RLS/m^2$$

نوع دیوار	ضخامت دیوارcm	K(ضریب‌انتقال حرارت)	R(مقاومت‌حرارتی)	X(هزینه)
آجر فشاری	۲۰	۵/۷۵	۰/۱۷٤	۱۱۸۱۲۸۰
بلوک سفالی	۲۰	۱/۹۵	۰/۵۱۳	٤۰۰٦۰۸
بلوک سیمانی	۲۰	٦/۲۵	۰/۱٦	۱۲۸٤۰۰۰
بلوک‌بتن‌سبک‌هوادارB.S.S	۱٦	۰/۷۵	۱/۳۳	۱۵٤۰۸۰

جدول ۲

۱۰ـ هزینه استهلاک زودرس تاسیسات گرمایش و سرمایش , در طول ۵۰ سال عمر مفید به مـــیزان ۵۰% هزینه ناشی از اتلاف حرارتی منظور شده است .

۱۱ـ پس از عملیات تاسیساتی بای ترمیم ناشی از تخریب دردیوارهای آجر فشاری ۵% و بلوک ســـیمانی و سفالی ۱۰% و بلوک بتن هوادار ۳% مجموع هزینه های (مصالح + ملات مصرفی + حمل + اجرا + اتـــلاف مصالح) منظور شده است .

با توجه به ارقام بدست آمده در جدول ۲ هزینه دیوارهای با مصالح مختلف ساختمانی رادر جدول ۳ بررسی می کنیم :

هزینه	دیوار با آجر فشاری	دیوار با بلوک سفالی	دیواربا بلوک سیمانی	دیواربا بلوکB.S.S
هزینه اولیه (ریال)	۱۳۷٦۱۰	۱۱۷٦۲۵	۱۵۰۷۹٦	٤٦۸۹٤
هزینه نائی(ریال)	۱۹۱۳۵۳۰	۷۲۲۵۳۷	۲۰۸۰۷۹٦	۲۷۸۰۱٤

جدول ۳

ارقام بدست آمده در جدول فوق نتایج زیر را در توجیه اقتصادی استفاده از بلوک B.S.S نشان می دهند : هزینه اولیه دیوار با بلوک B.S.S, ۳۳% آجر فشاری ,٤۰% بلوک سفالی و ۳۱% بلوک ســیمانی می باشد. در برنامه ریزی دراز مدت و۵۰ ساله با هزینه ۱ متر مربع دیوار با آجر فشاری , بلـــوک ســفال و بلوک سیمانی می توان به ترتیب ٦/۸۸ متر مربع و ۲/٦ متر مربع و ۷/٤۸ متر مربع دیوار با بلـــوک B.S.S ساخت .

ـ ساختمان های روستائی

ـ *عایق بندی حرارتی بلوک ساندویچی B.S.S :*

ـ اگر دمای داخل اتاق ۲۰°C = و دمای خارج اتاق °C ۱۰ـ باشد خواهیم داشت :

(اختلاف دما) $\Delta T = 30^{O}C$

برای تعیین دمای سطح داخل اتاق از رابطه زیر استفاده می کنیم :

$$T_f = T_i - \Delta_{total} \times \frac{R_{film}}{R_{total}}$$

(Δ_{total} و T_i و R_{film} ثابت R_{film}: مقاومت حرارتی فیلم هوا , T_f : دمای سطح داخلی اتاق , T_i : دمای سطح داخلی اتاق , R_{total} : مقاومت کل حرارتی دیوار , Δ_{total} : اختلاف درجه حرارت فضای داخلی ساختمان با فضای خارج)

- اگر اختلاف دمای سطح داخلی دیوار با دمای داخل اتاق کمتر از ۳ ^oC باشد , آسایش برقرار می‌باشد .
- ضریب هدایت حرارتی گچ را ۳۵% , جدار بلوک سیمانی را ۷۵% و بتن سبک هوادار را ۰/۰۹۵ , آجر فشاری و ماسه آهکی را ۱/۱۵ در نظر می گیریم .
- مقاومت حرارتی فیلم هوای سطح خارجی دیوار را ۰/۰۶ و بتن سبک هوادار را ۰/۰۹۵ , اجر فشاری و ماسه آهکی را ۱/۱۵ در نظر می گیریم .
- مقاومت حرارتی فیلم هوای سطح خارجی دیوار را ۰/۰۶ و مقاومت حرارتی فیلم هوای سطح داخلی دیوار را ۰/۱۱ در نظر می گیریم .

اگر دیوار با آجر فشاری توپر و آجر ماسه آهکی اجرا گردد , خواهیم داشت : (اندود سیمان کاری در نمای این دیوار محسوب شده است).

$$R_{total} = 0.11 + \frac{0.03}{0.15} + \frac{0.20}{1.15} + \frac{0.025}{0.35} + 0.06 = 0.4416$$

$$T_f = T_i - 30 \times \left(\frac{R_{film}}{R_{total}} \right) = 20 - 30 \times \frac{0.11}{0.4416} = 7.47^\circ C > 3^\circ C$$

آسایش برقرار نیست .

اگر دیوار با بلوک سیمانی توپر در نظر گرفته شود , خواهیم داشت :

$$R_{total} = 0.11 + \frac{0.2}{0.75} + \frac{0.025}{0.35} + 0.06 = 0.36$$

$$T_f = 10.83^\circ C, 20 - 10.83 = 9.17^\circ C > 3^\circ C$$

آسایش برقرار نیست .

اگر دیوار را با بلوک ساندویچی B.S.S در نظر بگیریم , خواهیم داشت :

$$R_{total} = 0.11 + \frac{0.035}{0.75} + \frac{0.13}{0.095} + \frac{0.025}{0.35} + 0.06 = 1.65$$

$$T_f = 18^\circ C, 20 - 18 = 2^\circ C > 3^\circ C$$

آسایش برقرار نیست .

توجیه اقتصادی :

جدول مقایسه ای زیر در خصوص بکارگیری مصالح مختلف ساختمانی جهت احداث ساختمان های کم طبقه برتری اقتصادی بلوک ساندویچی B.S.S را نشان می دهد :

ردیف	اقلام هزینه	آجر فشاری	بلوک سیمانی	آجرماسه آهکی	بلوک ساندویچیB.S.S
۱	مصالح	۱۷٦۰۰	۲۷۵۰۰	۳٤۰۰۰	۲۵۰۰۰
۲	ملات مصرفی	٦۰۰۳	۲٤۰۰	۳٦۰۰	۲٤۰۰
۳	حمل	۵٤۰۰	۵٤۰۰	۵٤۰۰	۲٤۰۰
٤	اجرا	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰
۵	سربار اضافی[1]	۲۵۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲٦۷۰۰	۰
٦	اتلاف حرارتی[2]	۱۱۸۱۲۸۰	۱۷۹۷٦۰۰	۱۱۸۱۲۸۰	۱٤۳۸۰۰
جمع کل		۱۲٤٤۸۸۰	۱۸۷۲۹۰۰	۱۲٦۲۹۸۰	۱۸۳٦۰۰

جدول مقایسه هزینه های ناشی از بکارگیری مصالح ساختمانی موجود در بازار ایران بر مبنای دیوار به ضخامت ۲۰ (هزینه ها به ریال)

۱ـ وزن یک عدد بلوک سیمانی تو خالی۲۰kg می باشد .

وزن بتن سبک هوادار داخل بلوک۳/٦٤kg می باشد .

وزنm^2 ۱ دیوار با آجر فشاریkg/m^2 ٤۰۰

وزنm^2 ۱ دیوار با بلوک سیمانی توپرkg/m^2 ٤۸۰

وزنm^2 ۱ دیوار با آجر ماسه آهکی kg/m^2 ٤۵۰

وزن $1m^2$ دیوار با بلوک ساندویچیB.S.S kg/m^2 ۳۰۰

ـ ۳۰% هزینه ساختمانی ناشی از دیوار سازی می باشد که با احتساب هر متر مربع خانه روستایی ۵۰۰،۰۰۰ ریال و میزان ۲۰% کاهش هزینه ناشی از سبک سازی خواهیم داشت :

$$500000 \times 0/3 \times 0/2 = 30000$$

$$30000 \times \frac{400}{480} = 25000, 30000 \times \frac{400}{450} = 26667$$

۲ـ اتلاف حرارتی از طریق جدارهای خارجی یک واحد ساختمانی را ۷۰% در نظر می گیریم .

ـ نرخ برق مصرفی را ٦٤ ریال (حداقل نرخ کیلو وات ساعت) در نظر می گیریم .

ـ شرایط اب و هوایی ایران در فصل زمستان ۱۸۱۰ روز درجه سانتی گـراد (CD) گرمـایش و در فصـل تابستان ۸٦۵ روز درجه سانتی گراد سرمایش که مجموعا در یک سال برابر است با :

$$1810+865=2675^{o}C$$

که در تبدیل آن به ساعت × درجه سانتی گراد خواهیم داشت :

$$2675(^{o}CD) \times 24 \frac{H}{D} = 64200(^{o}CH)$$

از مقاومت حرارت حرارتی فیلم های سطوح داخلی و خارجی صرفنظر می کنیم .

ضریب انتقال حرارتی با رابطه $K = \frac{1}{R}$ محاسبه می شود .

هزینه سوخت مصرفی در فاصله زمانی ۵۰ سال (عمر مفید ساختمان) با استفاده از رابطه مقابل در جدول زیر درج شده است :

$$K(w/m^2.^oC)\times 64200(^oCH)\times 0/064(RLS/W.H)\times 50(Years)=(X)RLS/m^2$$

نوع دیوار	ضخامت دیوار(cm)	K (ضریب انتقال حرارت)	R (مقاومت حرارتی)	X (هزینه)
آجر فشاری توپر	۲۰	۵/۷۵	۰/۱۷٤	۱۱۸۱۲۸۰
بلوک سیمانی توپر	۲۰	۸/۷۵	۰/۱۱٤۳	۱۷۹۷٦۰۰
بلوک ماسه آهکی (معادل آجر فشاری منظور شده است)	۲۰	۵/۷۵	۰/۱۷٤	۱۱۸۱۲۸۰
بلوک ساندویچی	۲۰	۰/۷۰	۱/٤۲	۱٤۳۸۰۰

با توجه به ارقام بدست آمده در جدول بالا , هزینه دیوارهای با مصالح مختلف را در جدول زیر خلاصه می کنیم :

هزینه	دیوار با آجر فشاری	دیواربا بلوک سیمانی توپر	دیوار با آجر ماسه آهکی	دیوار با بلوک ساندویچیB.S.S
هزینه اولیه(ریال)	٦۳۳٦۰۰	۷۵۳۰۰	۸۱۷۰۰	۳۹۸۰۰
هزینه نایی (ریال)	۱۲٤٤۸۸۰	۱۸۷۲۹۰۰	۱۲٦۲۹۸۰	۱۸۳٦۰۰

ارقام بدست آمده در جدول فوق نتایج زیر را در توجیه اقتصادی استفاده از بلوک ساندویچی B.S.S نشان می دهند :

۱ـ هزینه اولیه دیوار با بلوک ساندویچیB.S.S ۰/٦۳ آجر فشاری ,۵۳% بلوک سیمانی توپر و ۰/٤۹ آجر ماسه آهکی می باشد .

۲ـ در برنامه ریزی دراز مدت ۵۰ ساله با هزینه ۱ متر مربع دیوار با آجر فشاری , بلوک سیمانی توپر و آجر ماسه آهکی می توان به ترتیب ٦/۷۸ متر مربع و ۱۰/۲۰ متر مربع و ٦/۸۷ متر مربع دیوار با بلوک ساندویچیB.S.S ساخت .

ـ مشخصات فنی بتن سبک هوادار در عایق بندی حرارتی :

در بررسی فنی عایق بندی بلوک های بتن سبک هوادار (B.S.S) مشخصات زیر مورد توجه قرار می گیرد :

بافت همگن و سلولی بتن هوادار باعث مقاومت در مقابل انتقال حرارت شده و با مصرف این بتندر جدارهای خارجی (سقف , دیوار , کف) دیگر نیازی به استفاده از دیگر محصولات عایق بندی نخواهد بود .

جدول زیر مقدار(ضریب انتقال حرارتی) بتن سبک هوادار را براساس دانسیته و ضخامتهای مختلف نشان مـ ـ ـی دهد .

دانسیته بتن(kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی λ(w/m^{o}c)	ضریب انتقال حرارت بر اساس ضخامت k(w/m^{o}c)						
		50(mm)	80(mm)	100(mm)	120(mm)	150(mm)	180(mm)	200(mm)
300	0/065	1/03	0/70	0/58	0/49	0/40	0/34	0/30
400	0/08	1/21	0/83	0/69	0/58	0/46	0/41	0/37
500	0/095	1/23	0/96	0/80	0/68	0/56	0/48	0/43
600	0/115	1/38	1/03	0/89	0/74	0/63	0/57	0/42
700	0/13	1/57	1/12	0/93	0/81	0/67	0/59	0/52
800	0/15	1/37	1/15	1/00	0/83	0/71	0/65	0/54
900	0/175	1/52	1/30	1/13	0/94	0/81	0/75	0/61
1000	0/205	1/69	1/45	1/27	1/07	0/94	0/85	0/70
1100	0/23	1/82	1/57	1/39	1/17	1/02	0/94	0/78
1200	0/27	2/02	1/75	1/55	1/32	1/15	1/06	0/98
1400	0/348	2/31	2/04	1/83	1/58	1/39	1/29	1/08
1800	0/436	2/08	2/33	2/10	1/04	1/63	1/52	1/29

ضریب هدایت حرارتی بتن سبک هوادار (B.S.S) با دانسیته های مختلف

قابل ذکر است که تامین آسایش داخل ساختمان زمانی حاصل می شود که ضریب انتقال حرارتی دیوارهـ ـای خارجی حداکثر ۰/۷ باشد (K= ۰/۷)

مصالح	دانسیته (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی	ضخامت مورد نیاز (k=0/7)(m)
سنگ مرمر و پلا	۲۷۰۰	۲/۹	٤/١٤
بتن معمولی	۲٤۰۰	۱/۷۵	۲/۵
بتن حفره دار	۱۹۰۰	۱/٤	۲
بلوک سیمانی	۱۹۰۰	۱/۲۵	۱/۷۹
آجر فشاری	۱۸۰۰	۱/۲۵	۱/٦٤
آجر سفال سوراخدار	۱۸۰۰	۰/۸	۱/۱٤
بلوک سفال	۱۲۰۰	۰/۵۱	۰/۷۳
بتن سبک B.S.S	۱٦۰۰	۰/۵۰	۰/۷۱
بتن سبک B.S.S	۸۰۰	۰/۱۵	۰/۲۱
بتن سبک B.S.S	٤۰۰	۰/۰۸	۰/۱۱

جدول زیر ضخامت لازم برای مصالح مختلف, برای رسیدن به ضریب انتقال حرارتی مطلوب را نشان می‌دهد .

برای درک بتر مقاومت حرارتی بتن سبک هوادار متذکر می گردد . یک لایه ۵۰mm از بـتن سـبک یـا دانسیته (kg/m^3) ٤۰۰ معادل یک لایه از چوب پنبه به ضخامت ۲۵ mm , مقاومت حرارتی دارد .

برای بررسی و انجام مقایسه مابین مصالح موجود در بازار ایران , از جهت عایق بندی حرارتـ ـی , دو جـدول مربوط به ضریب هدایت حرارتی (λ) مصالح مختلف ساختمانی و چگونگی تامین آسایش , توسـط دیوارهـ ـای خارجی رادر پی می آوریم :

ردیف	مصالح	$\lambda(w/m^oc)$
۱	آجر فشاری	۱/۱۵
۲	بتن و بتن مسلح	۱/۷۵
۳	بتن حفره ای	۱/٤
٤	آجر سفال سوراخدار	۰/۸
۵	بلوک سفالی	۰/۵۱
٦	بلوک سیمانی	۱/۲۵
۷	بلوک (B.S.S) بلوک بتنی سبک هوادرا ($۸۰۰ \sim ۹۰۰\ kg/m^3$)	۰/۱۵
۸	اندود گچ	۰/۳۵
۹	اندود ماسه و سیمان	۱/۱۵
۱۰	آهن	۷۲
۱۱	سنگ دو شیشه داغون	۱/۰۵
۱۲	سنگ گرانیت	۳/۵
۱۳	سنگ تراورتن و آهکی	۲/۹
۱٤	پوکه سیب بندی	۰/۱۵
۱۵	موزائیک	۱/۰۵
۱٦	قیر و گونی و آسفالت	۱/۱۵
۱۷	فیلم هوای سطح داخلی دیوار	۹/۱
۱۸	فیلم هوای خارجی دیوار	۱٦/۷

جدول ضریب هدایت حرارتی (λ) مصالح مختلف ساختمانی

جدول چگونگی تامین آسایش , توسط دیوارهای خارجی با مصالح ساختمانی مختلف

نوع دیوار / اندازه	بلوک سفالی	آجر سفالی	آجر فشاری	بلوک B.S.S	بلوک سفال پرشده با بتن B.S.S
ضخامت بلوک(cm)	۲۰	۲۰	۲۲	۱٦	۲۰
ضخامت اندود گچ در داخل (cm)	۲/۵	۲/۵	۳	۱	۲/۵
ضخامت اندود سیمانی در خارج (cm)	۳	۳	۳	۲/۵	۳
مقاومت حرارتی دیوار (R)	۰/۰٦٦	۰/۵۲	۰/٤۷	۱/۲۵	۲/۵۳
T_i-T_f (درجه سانتیگراد)	۵	٦/۳٤	۷/۰۲	۲/٦٤	۱/۳
شرایط محیط داخل اتاق	غیر قابل آسایش	غیر قابل آسایش	غیر قابل آسایش	قابل آسایش	قابل آسایش

اگر T_i-T_f کمتر از ۳ درجه سانتی گراد باشد , اسایش در داخل اتاق برقرار است .

T_i = دمای داخل اتاق

T_f = دمای لایه هوای چسبیده به جدار داخلی دیوار بیرونی