

نظام مهندسی

ماهنامه سازمان نظام مهندسی
ساختمان تهران
دوره هشتم / سال بیستم
شماره ۳ / آبان و آذر ماه ۱۳۹۹

← ضرورت توجه به مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان
در مراقبت و نگهداری از ساختمان‌ها

← الزامات تهیه مبانی تعرفه بازرسی‌های
مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان

← تعارضات و تناقضات ماده ۱۰۰ قانون شهرداری‌ها

← مقایسه تطبیقی شیوه‌نامه‌های تعیین ظرفیت و صلاحیت اشخاص
حقوقی عضو نظام مهندسی و مشاوران عضو نظام فنی و اجرایی

← برقراری ارتباط الکترونیکی سازمان
با شهرداری‌های تمام شهرهای استان تهران



انرژی و ساختمان: قابلیت دیوارهای ساخته شده با بتن هوادار اتوکلاو شده در بخش مسکونی کشور امارات متحده عربی

با الزامی شدن کدهای مقررات مصرف انرژی، عایق‌های حرارتی به‌عنوان ابزاری برای افزایش بهره‌وری انرژی مصرفی معرفی شدند. اخیراً، بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) به‌عنوان یک محصول سازگار با محیط‌زیست که می‌تواند ویژگی‌های عایق حرارتی را بدون استفاده از لایه‌های عایق اضافی برآورده کند، در امارات شناخته شده است. این پژوهش، تأثیر ویژگی‌های بتن هوادار اتوکلاو شده را بر رسی و خصوصیات فنی و اقتصادی آن را با چند نوع مصالح دیگر مقایسه می‌کند. این مطالعه نشان می‌دهد که دانسیته بتن هوادار اتوکلاو شده، با ابعاد و ضخامت مساوی،



احسان معتمدی
کارشناسی عمران



تقریباً 1/4 بلوک‌های سیمانی است، ولی علاوه بر اینکه سبک‌تر از بلوک سیمانی است، یازده برابر مقاومت حرارتی بیشتری دارد. با این وزن و مقاومت حرارتی، بتن هوادار اتوکلاو شده می‌تواند الزامات عایق حرارتی کشورهای امارات را بدون افزودن لایه‌های عایق اضافه برآورده نماید. آنالیزهای اقتصادی نشان می‌دهد که ضرب بهره‌وری انرژی به سرمایه‌گذاری برای دیوارهای ساخته شده از بلوک AAC بزرگ‌تر از ۳ است که به معنای برگشت سرمایه‌گذاری صورت گرفته پس از ۹ سال است. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از بتن هوادار اتوکلاو شده مصرف انرژی را برای بخش مسکونی به میزان ۷٪ کاهش می‌دهد. هر متر مربع دیوار ساخته شده از AAC می‌تواند در طول عمر خود میزان تولید و انتشار گاز CO2 را به میزان ۳۵۰ کیلوگرم کاهش دهد.



مقدمه

به‌عنوان مثال، در دبی در چند سال گذشته الزامات عایق‌بندی حرارتی ساختمان عملیاتی شده است. کدهای ساختمانی، میزان عبور دما از هر یک از جزای ساختمان را بررسی می‌کند. تخمین زده می‌شود که می‌توان با عایق‌بندی حرارتی دیوارها و سقف تا ۴۰٪ میزان مصرف برق را کاهش داد [۲]. مشابه دبی، الزامات عایق حرارتی در ابوظبی نیز عملیاتی شده است. همچنین تلاش‌هایی صورت گرفته تا میزان عایق حرارتی و جرم حرارتی مصالح در ساختمان‌ها با کاربری‌های متفاوت در امارات تخمین زده شود. اخیراً نتایج یک مطالعه [۳]، نشان داد که یک لایه ۵ سانتیمتر پلی‌استایرن با $U=0.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ و یک جرم حرارتی بالا (یک بلوک سیمانی با ضخامت حداقل ۲۵ سانتیمتر) می‌تواند مصرف برق ساختمان را برای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. هر چند مزیت تأثیر عایق حرارتی و جرم حرارتی مصالح ساختمانی در مناطق مختلف متفاوت است، ولی در مناطق جنوبی امارات مانند شهر العین، به دلیل تغییرات زیاد دمای بیرون نسبت به دمای معتدل داخل در طی ۲۴ ساعت، بیشتر مشهود است. برآورد میزان عایق حرارتی و جرم حرارتی مصالح یک موضوع مهم در منطقه

مصرف انرژی در امارات به یک نگرانی ملی تبدیل شده است. فقط در یک دهه از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶، مصرف برق در کشور تقریباً ۶۰٪ افزایش داشته است. برخلاف بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، امارات این افزایش مصرف را با استفاده بیشتر از منابع مرسوم جبران کرده است، در حالی که کشورهای توسعه‌یافته با تمرکز بر استراتژی‌های مصرف، مقدار مصرف انرژی را کاهش می‌دهند. استراتژی‌های این چنینی می‌تواند به صرفه‌جویی اقتصادی و بهبود شرایط محیط زیستی کمک کند. میزان CO2 خروجی از نیروگاه‌ها نیز دغدغه دیگری برای کشور است. آمار نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ [۱] میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (CO2) به میزان ۳۰ تا ۳۵٪ افزایش یافته است.

کشور امارات به تازگی در مورد بهینه‌سازی مصرف انرژی شاهد اجماع نظری در قانون‌گذاری بوده است که با در نظر گرفتن الزامات مصرف انرژی و میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نگاه ویژه‌ای به بخش ساختمان شکل گرفته است و البته در این خصوص اقداماتی نیز در کشور امارات صورت گرفته است.



Fig. 1. Building under study.

شکل ۱- ساختمان مورد مطالعه

جدول ۱ جزئیات ساختمان مورد مطالعه

مشخصات	آیتم
۲	تعداد طبقات
415 m ²	مساحت کل
3.7 m	ارتفاع طبقه
150 mm concrete block-24 mm of plaster inside and outside	دیوار خارجی
100 mm concrete block-24 mm of plaster inside and outside	دیوار داخلی
50 mm screed, 50 mm expanded polystyrene and 150 mm concrete slab - 0.6W/(m ² K)	سقف
0.12	نسبت پنجره‌ها به سطح دیوار
6 mm double glass - 2.78 W/(m ² K)	نوع شیشه
5.0m ³ /(hm ²)	ضریب نفوذ
Multi-zones	مناطق گرمایی
10 W/m ²	تجهیزات
8 W/m ²	روشنایی
Split unit	سیستم تهویه
(22-240C) Summer	دمای مطبوع
(20-22 °c) Winter	
4.5 m ² /person	تصرف

از نرم‌افزار Visual DOE {۱۹} برای ورود داده‌های معماری، مکانیکی و بارهای داخلی ساختمان استفاده شده است. این برنامه برای برآورد عملکرد انرژی نزدیک به واقعیت در طول عمر ساختمان تهیه شده است. در مدل شبیه سازی شده منطبق با واقعیت، داده‌های برداشت شده از نمونه ساختمان واقعی و قبض‌ها انجام گرفت. شکل ۲ کالیبراسیون مدل شبیه سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - راستی آزمایی نتایج آزمایش‌های واقعی و شبیه سازی شده

خلیج فارس است.

عایق حرارتی بیشترین تأثیر را در ساختمان‌های مسکونی بادیوارهای پیرامونی زیاد دارد. در برخی منازل مسکونی میزان صرفه‌جویی در مصرف برق بیشتر از ۵۰٪ کل مصرف شده است {۴،۵}. بر این مبنا، سعی شده که ضخامت جداره عایق را نسبت به تعرفه هزینه برق افزایش داد {۶}. ولی تأثیر عایق روی جداره‌های ساختمان‌های تجاری به‌طور متوسط ۲۵٪ است {۷}.

در چند سال گذشته، بلوک‌های سیمانی با ضریب هدایت حرارتی پایین موضوع تحقیقات گسترده‌ای بوده است. این موضوع را می‌توان در پروژه‌های تحقیقاتی و میدانی و همچنین تست‌های آزمایشگاهی بسیاری دید. به‌عنوان مثال، سه نوع بلوک سیمانی با هدایت حرارتی پایین طراحی شد {۸}. این بلوک‌ها می‌توانند با کاهش میزان انتقال حرارت از بار سرمایشی ساختمان بکاهند.

اما اخیراً، بتن هوادار اتوکلاو شده به‌عنوان بلوک دوستدار محیط‌زیست جایگزین بلوک‌های سیمانی شده است. مشخص شده است که صرفه‌جویی‌های قابل توجهی در مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش با استفاده از بتن هوادار اتوکلاو شده بجای بلوک‌های سیمانی به دست می‌آید {۹}. عملکرد خصوصیات عایق حرارتی دیوار، تحت تأثیر میزان قابل توجه ظرفیت حرارتی و مقاومت انتقال حرارت بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) قرار می‌گیرد {۱۰}. همزمان می‌توان بلوک هوادار اتوکلاو شده را بجای بلوک‌های سیمانی معمولی با لایه عایق حرارتی اضافه به دلیل وزن کمتر و مقاومت حرارتی بهتر جایگزین کرد {۱۱، ۱۲}. بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده بدون لایه عایق اضافی می‌توانند آسایش حرارتی مطلوبی را در داخل خانه فراهم کنند {۱۳}. براساس داده‌های به‌دست آمده، تلاش‌های بسیاری برای معرفی بلوک هوادار اتوکلاو شده به‌عنوان یک ماده ساختمانی عایق انجام شده است {۱۵}. اگرچه در عمل، خصوصیات عایق حرارتی دیوار، علاوه بر خصوصیات عایق حرارتی بلوک هوادار اتوکلاو شده، وابسته به چندین عامل دیگر هم است. در دیوارهای ساخته‌شده با مصالح بنایی باید دو فاکتور انتقال حرارت و میزان رطوبت را در طراحی دیوار در نظر گرفت {۱۶}. علاوه بر این، پوشش‌های مختلف دیوار می‌توانند در میزان نفوذپذیری رطوبت در دیوار مؤثر باشند {۱۷}. میزان تأثیر هر کدام از این عوامل در عملکرد نهایی عایق حرارتی دیوار مؤثر است.

این مطالعه تأثیر عایق حرارتی بلوک‌های بتن هوادار اتوکلاو شده را در ساختمان‌های مسکونی امارات بررسی و با چند نوع از مصالح رایج جایگزین مقایسه می‌نماید. به‌منظور لحاظ نمودن تأثیر اقتصادی عواملی چون سبزی بودن این محصول به جز آنالیز فنی، آنالیز اقتصادی کاربرد این محصول نیز در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

روش تحقیق

عملکرد دیوارهای هوادار اتوکلاو شده در شرایط جوی امارات، با مقایسه فیزیکی و حرارت، مطالعات شبیه‌سازی و آنالیز اقتصادی بررسی شد.

روش‌های فیزیکی و حرارتی

علاوه بر نمونه‌ها، مشخصات فنی و قیمت بلوک AAC، این اطلاعات برای مصالحی چون بلوک‌های سیمانی توخالی (ماسه و سیمان)، بلوک سیمانی توخالی (ماسه، سیمان و فوم) و آجرهای قرمز، از تولیدکنندگان مختلف و پیمانکاران منطقه گرفته شد. این فرصت، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی مصالح مختلف در امارات را ممکن ساخت. از آنجا که بیشترین میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان‌های مسکونی است، صرفه‌جویی در چنین ساختمان‌هایی تأثیر بسزایی در صرفه‌جویی مصرف انرژی خواهد داشت. از یک ساختمان واقعی به‌عنوان نمونه استفاده شد (شکل ۱) تا بتوان تخمینی واقعی از عملکرد دیوارهای AAC ساخته‌شده در امارات برست آورد. تجهیزات تهویه هوای ساختمان نمونه بر مبنای پروتکل طراحی تجهیزات هوای ساختمان‌های شیخ زائد است {۱۸}. جدول ۱ جزئیات ساختمان مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سیستم‌های دیواری بررسی شده

شماره	لایه‌های دیوار	ضخامت، mm	چگالی	گرمای ویژه	ضریب انتقال حرارت	وزن
			kg/m ³	(kJ/(kg K)	(W/(m K)	kg/m ³
۱-Sys	اندود خارجی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان) توخالی	۲۰۰	۲۰۱۱	۰,۹۱	۱,۶۴	۱۳۸۰
	اندود داخلی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
۲-Sys	اندود خارجی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان-فوم) توخالی	۲۰۰	۱۹۲۲	۰,۹۵	۰,۶۱	۱۴۱۰
	اندود داخلی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
۳-Sys	اندود خارجی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
	بلوک هوادار اتوکلاو شده	۲۰۰	۵۰۰	۰,۸۷	۰,۱۶-a(۰,۱۲)	۵۰۰
	اندود داخلی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
۴-Sys	اندود خارجی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
	آجر سفالی قرمز	۲۰۰	۶۹۰	۰,۸۴	۰,۴۷	۶۶۰
	اندود داخلی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
۵-Sys	اندود خارجی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	
	لایه عایق پلی استایرن	۵۰-۲۵	۳۸-۳۵	۱,۳۰	a(۰,۰۳۶)-۰,۰۳۱	
	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان) توخالی	۲۰۰	۲۰۱۱	۰,۹۱	۱,۶۴	۱۳۸۰
	اندود خارجی (سیمان)	۲۰	۲۱۲۲	۰,۸۴	۰,۷۹	

مقایسه فنی بلوک بتن هوادار اتوکلاو شده با سایر مصالح موجود در ایران

شماره	نام فرآورده	چگالی،	ضریب انتقال حرارت،	مرجع
		kg/m ³	W/(m K)	
۱	بلوک بتن هوادار اتوکلاو شده	۵۲۰	۰,۱۲	گواهینامه فنی
۲	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان-سبکدانه) توخالی	۹۰۰-۷۰۰	۰,۱۷	وبسایت تولید کننده
۳	بلوک سفالی	۸۵۰	۰,۵۳	پیوست مبحث ۱۹

عملکرد سیستم بتن هوادار اتوکلاو شده از نظر زیست محیطی برآورد می‌گردد. خصوصیات فیزیکی و حرارتی دیوارهای بتن هوادار اتوکلاو شده سیستم‌های دیوار معمولاً به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند: دیوارهای دوجداره، دیوارهای خارجی یا دیوارهای مرکب {۲۱}.

در امارات دو نوع سیستم دیوار اجرا می‌شود. دیوارهای جداکننده و دیوارهای مرکب. سیستم نوع اول که در دیوارهای خارجی بکار می‌رود، عمدتاً تکیه بر خارجی‌ترین سطح و درزهای اجرایی برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان دارد. سیستم دوم که معمولاً در ساختمان‌های کم ارتفاع استفاده می‌شود، سیستمی تکیه بر ترکیبی از ضخامت و ظرفیت حرارتی مصالح برای جلوگیری از نفوذ رطوبت دارد. چندین اختلاف عمده بین این سیستم‌ها وجود دارد. این اختلافات را می‌توان در عملکرد حرارتی، آتشپایداری، محافظت از رطوبت، عایق صدا، تعمیر و نگهداری، دوام و در نهایت تأثیر آن بر صرفه‌جویی انرژی و محیط‌زیست نام برد.

در این مطالعه، وزن، دانسیته، ظرفیت عایق حرارتی و انتقال حرارت بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده از داده‌های تولیدکنندگان، پیمانکاران و فروشندگان استخراج شده است. متعاقباً این مشخصات برای سایر محصولات و سیستم‌های مورد مطالعه نیز استخراج گردید. جدول شماره ۲ خصوصیات فیزیکی و حرارتی بلوک هوادار اتوکلاو شده و سایر محصولات بنایی را نشان می‌دهد. دانسیته بلوک هوادار اتوکلاو شده تقریباً ۱/۴ بلوک‌های سیمانی توخالی است و همچنین از بلوک‌های سیمانی توخالی فومی نیز ۵۰ درصد سبک‌تر است.

تفاوت بین بلوک هوادار اتوکلاو شده و آجرهای سفالی قرمز در محدوده ۱۹۰-۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. خصوصیات عایق حرارتی بلوک هوادار اتوکلاو شده نشان می‌دهد که با ضریب انتقال حرارت پایین‌تر، عایق حرارتی بهتری نسبت به بلوک‌های سفالی قرمز و بلوک‌های سیمانی (توخالی و فومی) است.

تحلیل دقیقی برای مقایسه عملکرد بتن هوادار اتوکلاو شده با سایر مصالح ساختمانی انجام شد. علاوه بر این، مصالح سنتی مورد استفاده در دیوارها با یک لایه عایق حرارتی که مقررات صرفه‌جویی انرژی در امارات را برآورده می‌کند نیز بررسی شد. نتایج برای ۵ سیستم طراحی شده شرح زیر بدست آمد. بارهای سرمایش ساختمان جدا شدند تا تأثیر دمای داخل و بیرون نشان داده شوند. a) اعداد استفاده شده در محاسبات

روش‌های اقتصادی

برای آنالیزهای اقتصادی در این مطالعه، پارامترهای بازگشت سرمایه (PBT)، برگشت سود داخلی (AIRR)، ضریب سرمایه به پس‌انداز (SIR)، پس‌انداز خالص (NS) و ارزش روز (PV) در نظر گرفته شده‌اند. از نرم‌افزار هزینه‌نگهداری در طول عمر ساختمان (۵.BLCC) {۲۰} برای محاسبه پارامترهای اقتصادی استفاده شده است. این نرم‌افزار آنالیز اقتصادی، تأثیرگذاری اقتصادی اجزا و محصولات مختلف در یک ساختمان را محاسبه می‌کند. معمولاً این نرم‌افزار برای ارزیابی طرح‌های جایگزینی استفاده می‌شود که هزینه اولیه زیادی داشته، ولی هزینه‌های عملیاتی در طول عمر مفید آنها، نسبت به طرح‌های با هزینه اولیه پایین، کمتر است. از آنجایی که باید مبنایی برای مقایسه وجود داشته باشد، سیستم دیوارهای سنتی استفاده شده از بلوک‌های سیمانی (ماسه، سیمان) به‌عنوان مبنا فرض شده است.

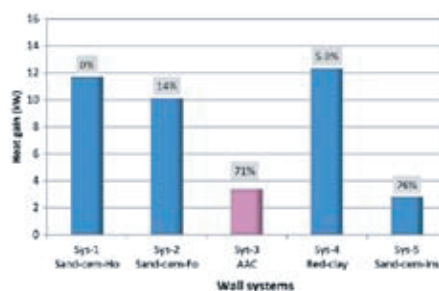
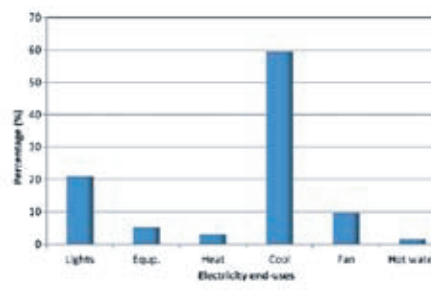
نتایج و ارزیابی

بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی و قیمت‌های گرفته شده از تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان و پیمانکاران، در بخش اول این پژوهش، سیستم بلوک بتن هوادار اتوکلاو شده ارزیابی شده، با سایر سیستم‌ها مقایسه می‌شود. در بخش دوم، میزان صرفه‌جویی مالی سیستم بلوک هوادار اتوکلاو شده محاسبه می‌شود و در بخش سوم

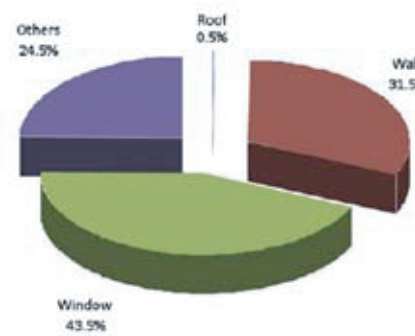
انتقال حرارت بلوک‌های هوادار اتو کلاو شده، با ضخامت ۲۰ سانتیمتر، به مراتب پایین‌تر از بلوک‌های دیگر با همان ضخامت است. این تمایز در مقایسه با بلوک‌های سیمانی توخالی و آجرهای سفالی با ضخامت یکسان کاملاً مشهود است. ضریب انتقال حرارت بلوک‌های هوادار اتو کلاو شده 0.12 (W/mk) است، در حالی که ضریب انتقال حرارت بلوک‌های سیمانی و سفالی، به ترتیب، 0.64 (W/mk) و 0.47 (W/mk) است. در سیستم‌های دیوار تعریف شده، مقایسه ضخامت و ارقام U برای سیستم شماره ۳ (بلوک به ضخامت ۲۴ سانتیمتر و عدد U برابر با 0.54 (W/mk)) و سیستم ۵ (ضخامت ۲۹ سانتیمتر و عدد U برابر با 0.48 (W/mk)) نشانگر عملکرد بسیار خوب بلوک هوادار اتو کلاو شده (سیستم ۳) است، حتی زمانی که سیستم ۵ با لایه عایق حرارتی اضافه به عنوان جایگزین انتخاب شده است. با این ضریب هدایت حرارتی، بلوک‌های هوادار اتو کلاو شده می‌توانند الزامات مقررات مصرف انرژی امارات را بدون اضافه کردن لایه‌های حرارتی بیشتر برآورده کنند.

آنالیز پارامترها

بر مبنای برداشته‌های انجام شده در مطالعات میدانی و گزارش‌های ممیزی، میزان مصرف انرژی ساختمان‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. کاملاً روشن است انرژی برق مصرفی در سیستم HVAC بیشترین مقدار را دارد، ضمن اینکه سیستم سرمایش ۶۵٪ مصرف انرژی کل را شامل می‌شود. سایر مصارف بین روشنایی، تجهیزات و بارهای دیگر ساختمان تقسیم شده است. مقررات انرژی در امارات عمدتاً بر کاهش گرمای ورودی و بار سرمایش متمرکز است.



شکل ۳- آمار به دست آمده از سیستم شبیه‌سازی



شکل ۴ جزئیات حرارت

شکل ۴- اجزای بارهای سرمایشی

ورودی به ساختمان‌های تحت مطالعه را که توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز گرفته شده است نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است، میزان بار گرمایی خارجی با منشأ خورشید که از طریق دیوارهای خارجی و پنجره‌ها منتقل می‌شود، بیشترین تأثیر را داشته، حدوداً ۴۳٪ است. در امارات، انتقال حرارت از باز به دلیل استفاده از لایه‌های عایق در سقف کمتر است. در حالی که انتقال حرارت از دیوارها تقریباً $1/3$ کل انتقال حرارت را شامل می‌شود. شکل ۵ تغییرات صرفه‌جویی انرژی را در سیستم‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌توان مشاهده کرد حداکثر صرفه‌جویی حرارتی ۷۵٪ برای سیستم ۵ - با یک لایه اضافی عایق اتقاق افتاده است. انتقال حرارت و دانسیته این سیستم به ترتیب برابر با 0.31 (W/mk) و 35 Kg/m^3 است. در حالی که برای دیوار بدون لایه عایق اضافه و با داشتن انتقال حرارت 0.16 (W/mk) و دانسیته 500 Kg/m^3 ، ماکزیمم کاهش به میزان ۷۱٪

شکل ۵- تغییرات صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های مختلف

در سیستم ۳ - که بلوک هوادار اتو کلاو شده است به دست آمده است. همچنین، تفاوت بین سیستم‌های مینا (سیستم ۱) و (سیستم ۲) با بلوک‌های سیمانی با فوم برابر با ۱۴٪ است، در حالی که صرفه‌جویی در سیستم بلوک سفالی قرمز ۵٪ است.

کاملاً روشن است انتقال حرارت با استفاده از بلوک هوادار اتو کلاو شده و بلوک سیمانی با فوم کاهش پیدا می‌کند. کاهش انتقال حرارت به دلیل اضافه کردن یک لایه عایق اضافی است. جدول ۳ میزان کاهش انرژی سالانه سرمایشی در سیستم بلوک هوادار اتو کلاو شده و سایر سیستم‌ها را نشان می‌دهد.

اختلاف بین سیستم ۳ - با بلوک هوادار اتو کلاو شده و سیستم ۵ - بلوک سیمانی با یک لایه عایق اضافی تقریباً ۵٪ است. این کاملاً نشان می‌دهد که استفاده از بلوک هوادار اتو کلاو شده تأثیر مثبتی در میزان کاهش بار برق مصرفی خواهد داشت. بنابراین بدون لایه عایق حرارتی اضافی، دیوارهای بلوک هوادار اتو کلاو شده، انرژی بیشتری از همه سیستم‌های دیگر صرفه‌جویی می‌نمایند. این کاهش با سه فاکتور ذیل مرتبط است:

بلوک‌های بتن هوادار اتو کلاو شده یک دیوار توپر یکپارچه با عایق حرارتی را فراهم می‌کنند. این سیستم از ایجاد پل حرارتی که در سایر دیوارها رایج است جلوگیری می‌کند.

شاخص طبقه: کل انرژی مصرفی تقسیم بر مساحت ناخالص

شاخص دیوار: کل انرژی مصرفی تقسیم بر سطح ناخالص دیوار خارجی

دیوارهای ساخته شده با بلوک‌های هوادار اتو کلاو شده یک ساختمان هواپند با حداقل نشت هوا را تشکیل می‌دهند.

دیوارهای هوادار اتو کلاو شده دارای مزیت جرم حرارتی بالا و انتقال حرارتی پایین است.

بلوک بتن هوادار اتو کلاو شده در سیستم ۳ - منجر به کاهش ۱۲٪ انرژی سرمایشی گردید. به تناسب آن انرژی مصرفی در فن و پمپ‌ها نیز کاهش یافت که نهایتاً مصرف کل انرژی به میزان ۷٪ پایین آمد. به نظر می‌رسد این اعداد در مقایسه با اعداد مرجع {۷} مورد قبول هستند.

قابل ذکر است که میزان صرفه‌جویی سرمایشی با کاهش انتقال حرارت از دیوارها به میزان زیادی بستگی به نوع ساختمان مورد نظر دارد. ساختمان‌هایی که دیوارهای پیرامونی بیشتری داشته، میزان انرژی روشنایی آنها کم بوده، میزان تجهیزات و ساکنین کمتری دارند، می‌توانند به میزان زیادی از پایین آوردن انتقال حرارت از دیوارهای پیرامونی بهره ببرند. ولی در ساختمان‌های تجاری میزان بار داخلی به مقدار اندکی به دیوارهای پیرامونی وابسته هستند.

در چنین ساختمان‌هایی، مصرف انرژی سرمایشی کمتر به میزان انتقال حرارتی دیوارهای پیرامونی مرتبط هستند. کاهش مصرف انرژی تأثیر بسزایی در صرفه‌جویی اقتصادی ساختمان‌ها دارد.

جدول ۳- میزان سرمایه‌ش و برق مصرفی در سیستم‌ها

شماره	نوع بلوک	شاخص دیوار		شاخص طبقه		اختلاف	اختلاف
		برق مصرفی kWh/(m ² year)	سرمایش kWh/(m ² year)	برق مصرفی kWh/(m ² year)	سرمایش kWh/(m ² year)		
Sys-1	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان) توخالی	۱۴۰	۶۹,۷	۷۰,۵	۱۳۸,۶		
Sys-2	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان-فوم) توخالی	۱۳۸,۳	۶۸,۸	۶۹,۱	۱۳۶,۷	۱,۲۹	۱,۳
Sys-3	بلوک هوادار اتوکلاو شده	۱۳۰,۱	۶۱,۳	۶۲	۱۲۸,۶	۱۲,۱	۷,۱
Sys-4	آجر سفالی قرمز	۱۴۰	۶۸,۴	۶۹,۲	۱۳۸,۴	۱,۹	۰,۰۳
Sys-5	بلوک سیمانی (ماسه-سیمان) توخالی	۱۲۹,۶	۶۰,۹	۶۱,۶	۱۲۸,۱	۱۲,۶	۷,۵

جدول ۴- تعرفه‌های برق، داده‌های مالی و قیمت مصالح در امارات متحده عربی

شهر	هزینه تولید	هزینه مصرف	نوع	مصرف کننده
تعرفه برق (\$/kWh)				
شارجه	۰,۰۵۹	0.040-(0.13)a	Slabrate	All
ابوظبی	۰,۰۵۹	0.013	Flat	Nationals
		0.043	Flat	Non-nationals
داده‌های مالی				
حداقل نرخ بازده قابل قبول	3%			
نرخ تخفیف خالص	3%			
طول عمر	50 years			
قیمت مصالح (\$/m ²)				
			۱۴,۱	
			۸,۰	
			۱۸,۶	
			۱۲,۰	
			8.0+10-(15)a	

توجیه اقتصادی دیوارهای بتن هوادار اتوکلاو شده

پارامترهای اقتصادی مانند تعرفه برق و میزان تخفیف نقش بسزایی در توجیه اقتصادی مصالح ساختمانی دارند. دو تعرفه ابوظبی و شارجه انتخاب گردید. ابوظبی پایین‌ترین تعرفه برق و شارجه بالاترین تعرفه برق را در امارات دارند. در این مطالعه آنالیز هزینه با استفاده از هزینه‌های اولیه از قبیل هزینه بلوک هوادار اتوکلاو شده و سایر محصولات از نظر قیمت و تعرفه سود بانکی که در جدول ۴ آمده، در نظر گرفته شده است. شماری از شاخص‌های اقتصادی دیگر از قبیل برگشت سرمایه (PBT)، نرخ تعدیل بازگشت (AIRR)، تناسب صرفه‌جویی به سرمایه‌گذاری (SIR)، ارزش کنونی (PV) و صرفه‌جویی خالص برای اندازه‌گیری اثر بخشی هزینه یک متر مربع در ساختمان‌های مورد مطالعه استفاده شده است. جدول ۵ محاسبه شاخص‌های بکار برده شده در تعرفه‌های اخیر در دو شهر امارات را نشان می‌دهد. این شاخص‌ها ۰.۱۳ \$/kWh برای ابوظبی و ۰.۱۳ \$/kWh برای شارجه است. زمان برگشت سرمایه (PBT) حداقل زمانی است که می‌توان سرمایه‌گذاری اولیه را برگشت داد و با تقسیم هزینه‌های اجرا به میزان صرفه‌جویی برق ضربدر تعرفه برق به دست می‌آید. شاخص برگشت سرمایه اغلب به‌عنوان یک تخمین برای اثر بخشی هزینه استفاده می‌شود. در صورتی

مقادیر پس از تبدیل هزینه به نرخ محلی به دلار آمریکا به دست می‌آیند. a) مقادیر استفاده شده در محاسبه.

که برگشت سرمایه به‌طور محسوسی کمتر از عمر سیستم باشد، پروژه را می‌توان اثر بخش قلمداد کرد.

با فرض اینکه عمر ساختمان‌های مورد مطالعه ۵۰ سال باشد، داده‌های جدول نشان می‌دهد که برگشت سرمایه (PBT) به‌جز برای سیستم ۲، با بلوک هوادار اتوکلاو

شده و سیستم ۲ با بلوک سیمانی و فوم و سیستم ۵ با استفاده از یک لایه اضافی عایق حرارتی، برای شرایط شارجه غیر قابل دستیابی است. بدون لایه اضافه عایق حرارتی، برگشت سرمایه برای بلوک هوادار اتوکلاو شده و بلوک سیمانی با فوم کوتاه‌تر و به ترتیب به مدت ۹ و ۲۶ سال است. برای سایر محصولات، زمان برگشت سرمایه بیشتر از عمر مفید ساختمان است. می‌توان مشاهده کرد که برگشت سرمایه سیستم ۳ با بلوک هوادار اتوکلاو شده کوتاه‌تر از سیستم ۵ با هزینه بلوک سیمانی توخالی و لایه اضافی عایق حرارتی است. در نتیجه، هزینه سیستم ۵ بزرگ‌تر از هزینه سیستم ۳ با بلوک هوادار اتوکلاو شده است.

شایان ذکر است که بیشتر سیستم‌ها در ابوظبی از نظر اقتصادی به دلیل پایین بودن تعرفه‌های برق اثر بخش نیستند. تعرفه‌های پایین باعث تشویق مصرف‌کنندگان به کاهش هزینه‌های برق یا جستجو برای استفاده از محصولات که در کاهش مصرف برق مفید باشند نمی‌گردد. تعرفه‌های برق در ابوظبی با اعمال یارانه بر مبنای میزان مصرف محاسبه می‌شود و هزینه‌های واقعی تولید برق، انتقال و توزیع کیلووات بر ساعت را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین کاملاً روشن است که اگر تعرفه‌های برق افزایش یابد، مدت زمان برگشت سرمایه کاهش پیدا می‌کند.

روش نرخ برگشت سرمایه کاستی‌هایی مانند صرف نظر کردن از ارزش فعلی پول را دارد. همچنین هیچ ملاحظه‌ای هم در مورد صرفه‌جویی‌هایی که بعد از زمان برگشت سرمایه انجام می‌شود نشده است. برای جبران این کاستی‌ها، در این مطالعه از روش نرخ تعدیل برگشت سرمایه (AIRR) استفاده شده است. این شاخص بر میزان صرفه‌جویی در زمان مصرف و پس از سرمایه‌گذاری اولیه متمرکز است. در صورتی که نرخ تعدیل برگشت سرمایه مساوی یا بزرگ‌تر از نرخ سود سرمایه باشد، سیستم استفاده‌شده اقتصادی تلقی می‌شود. حداکثر نرخ تعدیل ۵.۸٪ است که متعلق به بلوک هوادار اتوکلاو شده است. این مقدار منفی ۰.۷٪ برای سفال قرمز در ابوظبی به دست آمد. بدیهی است استفاده از بلوک هوادار اتوکلاو شده در

جدول ۵- تحلیل اقتصادی برای هر مترمربع مصالح ساختمانی مورد مطالعه.

	Sys-1	Sys-2	Sys-3	Sys-4	Sys-5	Sys-1	Sys-2	Sys-3	Sys-4	Sys-5
هزینه‌های مصرف انرژی \$	۴۵۰	۴۴۴	۴۱۸	۴۵۰	۴۳۷	۴۵	۴۴	۴۲	۴۵	۴۲
\$PV		۶	۳۲	۰	۳۴		۱	۳	۰	۳
افزایش کل سرمایه‌گذاری \$		۶	۱۱	۴	۱۳		۶	۱۱	۴	۱۳
\$ NS		۰	۲۱	۴-	۲۱		-۶	-۷	-۴	-۱۰
SIR		۰,۹	۳,۰۲	۰,۰۳	۲,۶		۰,۱	۰,۳	۰	۰,۳
AIRR		۲,۸	۵,۹	-۵,۵	۵,۵		۲,۹-	-۰,۰۴	-۱۰,۸	-۰,۴
PBT year		۲۶	۹	۵۹	۱۰		۲۶۰	۹۰	۵۹۰	۱۰۰

جدول ۶- عملکرد هر مترمربع مساحت دیواره سیستم‌های مورد مطالعه

	ابوظبی					شارجه				
	Sys-1	Sys-2	Sys-3	Sys-4	Sys-5	Sys-1	Sys-2	Sys-3	Sys-4	Sys-5
عملکرد انرژی										
الکتریکی (kWh/m ²)	۱۳۸,۴	۱۳۶,۷	۱۲۸,۶	۱۳۸,۴	۱۲۸,۱	۱۳۸,۴	۱۳۶,۷	۱۲۸,۶	۱۳۸,۴	۱۲۸,۱
صرفه‌جویی (kWh/m ²)		۱,۸	۹,۸	۰	۱۰,۳		۱,۸	۹,۸	۰	۱۰,۳
صرفه‌جویی در طول عمر (kWh/m ²)		۷۰	۳۹۴	۱,۶	۴۱۴,۰		۷۰	۳۹۴	۱,۶	۴۱۴,۰
عملکرد زیست‌محیطی										
CO2 (kg/m ²)	۱۲۲,۵	۱۲۱	۱۱۳,۸	۱۲۲,۵	۱۱۳,۴	۱۲۲,۵۵	۱۲۱	۱۱۳,۸	۱۲۲,۵	۱۱۳,۴
کاهش انتشار (kg/m ²)		۱,۵	۸,۷	۰,۰۴	۹,۱۶		۱,۶	۸,۷	۰,۰۴	۹,۲
کاهش انتشار در طول عمر (kg/m ²)		۶۱,۹	۳۵۰	۱,۴	۳۶۶,۴		۶۱,۹	۳۴۸,۷	۱,۴	۳۶۶,۴

۱۳۸,۴ kWh/m² کل انرژی الکتریکی ناشی از هر مترمربع مساحت دیواره است. ۲/kg کل انتشار CO2 ناشی از هر مترمربع مساحت دیواره است

تفاوت بین سود (درآمد یا پس‌انداز) و هزینه‌ها در زمان حال است. این اعداد با ضریب تخفیف تعیین شده تخفیف داده می‌شوند. اگر پس‌انداز خالص یا سود خالص یک سیستم مثبت باشد، سیستم اقتصادی تلقی می‌شود. جدول ۵ محاسبه ضرایب کنونی را برای دو شهر امارات نشان می‌دهد. همه سودهای خالص در شارجه و ابوظبی برای همه سیستم‌ها به جز مورد آجر سفال قرمز با عدد صفر مثبت است. حداکثر ضریب ارزش حال 32% برای بلوک هوادار اتو کلاو شده در شارجه به دست آمده است، در حالی که این ضریب برای بلوک سیمانی با فوم در ابوظبی ۱\$ به دست آمده است. بنابراین در شارجه فقط بلوک هوادار اتو کلاو شده می‌تواند از نظر اقتصادی قابل قبول باشد.

توازن بین اقتصادی بودن و مصرف انرژی و فواید زیست محیطی

به‌طور کلی، ارزیابی‌های اقتصادی که در بالا به آن اشاره شد، اثر بخشی اقتصادی سیستم ۳ (با بلوک هوادار اتو کلاو شده) را برای شارجه نشان می‌دهد و همچنین بیانگر نسبت پس‌انداز به سرمایه‌گذاری بالاتر و نرخ تعدیل برگشت سرمایه کوتاه‌تر نسبت به سیستم دیوار با استفاده از یک لایه عایق اضافی برای شارجه است. هر چند سیستم ۳ با استفاده از

بلوک هوادار اتو کلاو شده برای ابوظبی، با توجه به تعرفه‌های برق حال حاضر و قیمت مواد اقتصادی نبود. ولی در این بخش، لازم است به نکات دیگری مانند ارزش زیست محیطی مصالحی مانند بلوک هوادار اتو کلاو شده توجه داشت. در مرحله اول، صرفه‌جویی در مصرف برق و در مرحله دوم کاهش گاز CO2. در حال حاضر، ظرفیت در حال بهره‌برداری، تقاضای انرژی و مصرف سالانه برق در بخش مسکونی به صورت فزاینده‌ای در امارات روبه‌رشد است که سرانه مصرف امارات را به یکی از پرمصرف‌ترین کشورهای تبدیل کرده است. همچنین امارات در تولید سرانه گاز CO2 نیز از کشورهای بالا است که باعث شده است پستی امارات به‌عنوان یکی از بدترین کشورهای آلوده هوا بسیار پایین باشد. استفاده از بلوک هوادار اتو کلاو شده می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش آلودگی و مصرف انرژی در امارات داشته باشد.

شارجه انتخاب بهتری از نظر اقتصادی خواهد بود، حتی وقتی که یک لایه اضافی عایق حرارتی در نظر گرفته شود.

Sys-1, Sand-cement block (hollow); Sys-2, Sand-cement block (foam); Sys-3, AAC; Sys-4, Red clay brick; Sys-5, Sand-cement block (hollow) with thermal insulation

نسبت پس‌انداز به سرمایه‌گذاری (SIR) یک نشانه از اقتصادی بودن یک پروژه یا نشانگر رابطه بین پس‌انداز و افزایش سرمایه‌گذاری (در حال حاضر) به‌عنوان یک ضریب است. نرخ پس‌انداز به سرمایه‌گذاری برای تصمیم‌گیری جهت افزایش سرمایه‌گذاری اولیه بر کاهش هزینه‌های نگهداری در درازمدت مؤثر است. در صورتی که نرخ پس‌انداز به سرمایه‌گذاری کوچک‌تر از ۱ باشد، پروژه اقتصادی نیست. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود حداکثر نرخ پس‌انداز به سرمایه‌گذاری برابر با ۳ است. این ضریب برای بلوک هوادار اتو کلاو شده در شارجه است. نتایج نشان می‌دهند که سیستم هوادار اتو کلاو شده موثرترین سیستم از نظر اقتصادی در بین سیستم‌های مطالعه شده است، حتی زمانی که لایه اضافی عایق حرارتی هم استفاده شده باشد. هر چند که استفاده از بلوک سیمانی با فوم در شارجه نرخ پس‌انداز به سرمایه‌گذاری برابر به ۰,۹ دارد، ولی نمی‌تواند به دلیل کمتر از ۱ بودن اقتصادی تصور گردد. کاملاً مشهود است که استفاده از هیچ‌یک از سیستم‌های مورد مطالعه در ابوظبی اقتصادی نیست و این صرفاً به دلیل تعرفه‌های پایین برق است.

شاخص پس‌انداز خالص (NS) نشانگر میزان صرفه‌جویی خالص در طول مدت مطالعه در مقایسه با سرمایه‌گذاری بر مبنای سیستم مبنای است. به‌عنوان مثال، شاخص پس‌انداز خالص بلوک هوادار اتو کلاو شده، تفاوت بین هزینه طول عمر مفید این دیوار در مقایسه با بلوک توخالی سیمانی است. صرفه‌جویی خالص با بلوک هوادار اتو کلاو شده در شارجه مثبت است، بنابراین این سرمایه‌گذاری، یک سرمایه‌گذاری ارزشمند و مؤثر است. صرفه‌جویی خالص بلوک سیمانی با فوم صفر بوده که البته زیانده نیست؛ اما صرفه‌جویی خالص در ابوظبی برای سایر سیستم‌ها غیراقتصادی است.

شاخص ارزش فعلی (PV) که گاهی اوقات بنام آنالیز سودآوری نیز نامیده می‌شود،



میزان مصرف انرژی، میزان تولید گاز CO₂ و نسبت هزینه فایده بلوک‌های بتن هوادار اتوکلاو شده با مقایسه خواص فیزیکی، عایق حرارتی، اقتصادی و محیط زیستی با سایر سیستم‌های متداول بررسی شد. مشاهدات و یافته‌های این مطالعه به شرح زیر خلاصه گردیده است:

تفاوت بین عملکرد فیزیکی و عایق حرارتی بین مصالح ساختمانی مطالعه شده، بلوک‌های سیمانی توخالی، بلوک‌های سیمانی توخالی و فوم، بلوک‌های سفالی قرمز و بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده قابل ملاحظه است. دانسیته یک بلوک ۲۰ سانتیمتری هوادار اتوکلاو شده تقریباً ۱/۴ یک بلوک سیمانی توخالی با همان ابعاد و ضخامت است، در حالی که مقاومت حرارتی آن تقریباً ۱۱ برابر بیشتر است. با این مقادیر دانسیته، وزن و مقاومت حرارتی دیوارهای هوادار اتوکلاو شده می‌توانند الزامات کدهای انرژی امارات را بدون استفاده از لایه‌های عایق حرارتی اضافی برآورده کنند. بدون استفاده از لایه‌های عایق حرارتی، دیوارهای بلوک هوادار اتوکلاو شده می‌توانند به میزان قابل توجهی در صرفه‌جویی مصرف انرژی به دلیل جرم حرارتی، کنترل پل‌های حرارتی و هواپند بودن ساختمان مؤثر باشند. این فاکتورها می‌توانند مصرف انرژی سرمایشی را تا ۱۲٪ کاهش دهند. در نتیجه مصرف کل انرژی به میزان ۷٪ کاهش می‌یابد.

آنالیز اقتصادی در این مطالعه نشانگر تأثیر اقتصادی دیوارهای هوادار اتوکلاو شده در شارجه با داشتن تناسب صرفه‌جویی به سرمایه (SIR) بیشتر از ۳ و داشتن نرخ برگشت سرمایه کمتر از ۹ سال است. ولی به نظر می‌رسد تعرفه‌های پایین برق در ابوظبی، مشوق کافی برای استفاده از سیستم‌های کاهنده مصرف انرژی و دوستدار محیط زیست ایجاد نمی‌کنند. انرژی و محیط زیست عوامل بسیار مهمی در ارزیابی مصالح ساختمانی سبز هستند. استفاده از بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده یک سیستم مطمئن و یک تکنولوژی دوستدار محیط زیست است که می‌تواند کمک بسزایی در مصرف انرژی و محیط زیست در منطقه امارات داشته باشد. به عنوان مثال، مصرف کل انرژی در بخش ساختمانی ابوظبی می‌تواند با استفاده از بلوک هوادار اتوکلاو شده به میزان ۱۸۸ GWh کاهش یابد. از نظر محیط زیستی، هر مترمربع دیوار هوادار اتوکلاو شده می‌تواند در طول عمر ساختمان با کاهش تولید انرژی مقدار ۳۵۰ کیلوگرم گاز CO₂ کمتری به جو وارد نماید. کاهش تقاضای انرژی و کاهش میزان تولید برق از نیروگاه‌های متعارف برق منجر به کاهش تولید گاز گلخانه‌ای CO₂ شده، اثرات گرم شدن گلخانه‌ای زمین را محدود می‌کند.

منبع: دپارتمان مهندسی معماری - دانشگاه امارات

بلوک هوادار اتوکلاو شده به عنوان یک محصول سبزی می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی را با داشتن جرم حرارتی، عایق حرارتی یکپارچه، کنترل پل حرارتی و هواپندی ساختمان تأمین کند. جدول ۶ صرفه‌جویی مصرف انرژی در هر مترمربع ساختمان برای هر یک از سیستم‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. کاملاً مشهود است که سیستم ۳ با بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده کاهش قابل توجهی را در مصرف انرژی نشان می‌دهد. هر چند که میزان صرفه‌جویی در طول عمر ساختمان در سیستم ۵ (با یک لایه عایق اضافی) بیشتر است، ولی سیستم ۳ با بلوک هوادار اتوکلاو شده در مقایسه با سایر موارد صرفه‌جویی قابل توجهی ایجاد می‌کند. با در نظر گرفتن پارامترهای فوق می‌توان محاسبه کرد که صرفه‌جویی مصرف انرژی برای خانه نمونه با استفاده از بلوک هوادار اتوکلاو شده تقریباً ۷٪ است. وقتی این به مقیاس بزرگ‌تر تبدیل شود، صرفه‌جویی برق به میزان ۲۶۴۶ GWh برای بخش مسکونی ابوظبی خواهد داشت. دیوارهای بلوک هوادار اتوکلاو شده قادر به صرفه‌جویی به میزان ۱۸۸ GWh هستند. از نظر محیط زیستی، با صرفه‌جویی در مصرف برق، گازهای مضر نیز تولید نمی‌شود. هر وات ذخیره شده با دیوار هوادار اتوکلاو شده به میزان قابل توجهی تولید CO₂ در نیروگاه‌های برق را کاهش می‌دهد. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، هر مترمربع دیوار هوادار اتوکلاو شده قادر به جلوگیری از تولید گاز CO₂ به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در طول عمر ساختمان است. مساحت دیوارهای ساختمان مورد مطالعه حدوداً برابر ۲۴۵۰ m² می‌باشند. بنابراین با استفاده از دیوارهای هوادار اتوکلاو شده، تولید گاز CO₂ به میزان ۱۵۴۰۰۰ Kg کاهش می‌یابد. کاملاً مشهود است که با استفاده از بلوک هوادار اتوکلاو شده تقاضای مصرف برق کاهش یافته، تولید نیز کاهش می‌یابد. با کاهش تولید انرژی، تولید CO₂ نیز کاهش می‌یابد. با کم کردن تولید انرژی و کاهش CO₂ تأثیر مخرب محیط زیستی کاهش یافته، کمک بسزایی در محدود کردن گرم شدن گلخانه‌ای زمین خواهد داشت.

یافته‌ها و نتایج

با پیشرفت تکنولوژی، تقاضا برای بهینه‌سازی و یکپارچه‌سازی مصالح ساختمانی، اجزای تشکیل دهنده و سیستم‌های پیرامونی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این مطالعه، نخستین کوششی است که برای رسیدن به تعادلی بهینه بین هزینه، انرژی و محیط زیست با استفاده از بلوک هوادار اتوکلاو شده در امارات انجام شده است. در این مطالعه در بخش ساختمان‌های مسکونی امارات، ارتباط بین