# بررسی ساختار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در ساختمان (BLAST, ENERGY PLUS, BDA)

**سورنا ستاری، بیژن فرهانیه**
دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی‌شریف



## چکیده

در این مقاله به بررسی BLAST ، ENERGY PLUS و BDA و معرفی روش‌های مختلف محاسباتی در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی حرارتی ساختمان پرداخته شده است. اصول شبیه‌سازی و قابلیت طراحی هر کدام از این نرم‌افزارها با هم متفاوت می‌باشد.

تکنیک به کار گرفته شده در نرم‌افزار BLAST برای حالت‌هایی که پاسخ سیستم تنها تابعی از دمای هوا باشد بسیار مناسب است. اما در موقعیت‌هایی که سیستم به پارامترهای خارجی و یا به عوامل دیگری از محیط تهویه وابسته باشد عدم وجود فیدبک مناسب از سیستم به محیط تهویه نتایج غیرقابل قبولی را به دنبال خواهد داشت. برای حل آن از روش تکرار نیوتن‌رافسون استفاده می‌کنند و $T_z$ را تابعی از زمان در نظر می‌گیرند. با کوچک کردن گام‌های زمانی، سیستم را می‌کنند. اما این اقدام باعث بالا رفتن شبیه‌سازی و بوجود آمدن خطاهای برشی می‌شود و این خطاها در درجات پایین تفاضل محدود، زیادتر است.

در Energy plus هر سه مرحله شبیه‌سازی با یکدیگر صورت می گیرد در نتیجه اثرات فیدبک در نظر گرفته می‌شود. در این نرم‌افزار نیز از روش آزمون و خطا استفاده می‌شود ولی حتی با در نظرگرفتن بازه‌های زمانی بزرگتری احتمال ناپایداری سیستم کم می‌باشد. در ضمن حجم محاسباتی در این روش زیاد است.

در BDA از ابزار شیءگرا استفاده شده است و قابلیت شبیه‌سازی ساختمان و تجهیزات تأسیسات در آن وجود دارد و این عمل کاربرد را وسیع‌تر و راحت‌تر می‌کند. محیط برنامه هوشمند است و هر گونه تغییرات در جزء، در کل سیستم تأثیر می‌گذارد. برنامه‌های تحلیلگر و بانک‌های اطلاعاتی این نرم‌افزار دقت محاسباتی را بالا برده است. اما به دلیل وجود ابزارهای متنوع زیاد برای شبیه‌سازی و طراحی این ابزار توسط محققان، بالطبع ورودی آنها زیاد است که وارد کردن آنها مستلزم داشتن زمان کافی است. در ضمن حجم خروجی‌ها زیاد و مقایسه آنها مشکل است.

**واژه‌های کلـیدی:** بالانس حرارتی، فاکتور وزنی، ساختمان، انرژی حرارتی، نرم‌افزار شبیه‌سازی و فیدبک

**مقدمه**

تأمین انرژی گرمایش و سرمایش خانه‌ها و اماکن تجاری همواره سهم بزرگی از انرژی مصرفی کل را به همراه دارد به همین منظور بحث‌های زیادی در رابطه با مدیریت انرژی در این مورد مطرح شده است. مدیریت انرژی در ساختمان به منظور بهینه‌سازی انرژی مصرفی می‌باشد که یکی از اهداف اصلی آن به حداقل رساندن میزان اتلافات می‌باشد. در این نرم‌افزارها در ابتدا به کمک بانک‌های اطلاعاتی پشتیبان به محاسبه میزان انرژی لازم جهت تأمین شرایط موردنیاز برای آسایش در ساختمان، محاسبه می‌شود. سپس با توجه به روش‌ها و تجهیزات قابل دستیابی، به بهینه‌سازی هم از لحاظ انرژی و هم از لحاظ اقتصادی پرداخته می‌شود و در این راستا در شبیه‌سازی از مفهوم integrative modeling استفاده شده که به مفهوم همراهی کل سیستم ساختمان و تأسیسات آن در تمامی جریان‌های انتقال انرژی می‌باشد و به منظور تأمین اهداف مسئله و عدم قطعیت‌های ذاتی در نظر گرفته می‌شود.

برای تحلیل گرمایش و سرمایش ساختمان مدل‌های مختلفی وجود دارد. مدل‌های قدیمی عبارتند از: مدل‌ها خطی و مدل‌های برمبنای سری‌های زمانی و غیره که از دقت عمل خوبی برخوردار نبوده است. اما شیوه‌های جدید عبارتند از: روش‌های غیرخطی سری فوریه، شبکه‌های چند جمله‌ای و شبکه‌های عصبی مصنوعی با تحلیل wavelet و روش eda.

مراحل اصلی شبیه‌سازی شامل ایجاد مدل ساختمان و مدل تجهیزات می‌باشد. در مدل ساختمان انرژی مورد نیاز برای تأمین انرژی حرارتی ساختمان، با استفاده از مدل‌سازی آن تخمین زده می‌شود. در مرحله بعد، با توجه به نیاز انرژی حرارتی، تجهیزات تأسیساتی مورد بررسی قرار می‌گیرند. هدف از این مراحل به حداقل رساندن میزان انرژی مصرفی در ساختمان می‌باشد. لازم به ذکر است که برای شبیه‌سازی از دو روش بهره گرفته می‌شود: روش بالانس حرارتی و روش پارامترهای وزنی. هر کدام از این روش‌ها قادر به شبیه‌سازی ساختمان و تجهیزات تأسیساتی آن به تفکیک ساعت، می‌باشند. [۱]

**نرم‌افزار BLAST**

BLAST نرم‌افزاری می‌باشد که قابلیت شبیه‌سازی و محاسبهٔ میزان انرژی لازم برای یک ساختمان را در هر ساعت و نیز شبیه‌سازی تجهیزات آن را در طول یک سال دارد. در این نرم‌افزار از روش بالانس حرارتی بهره گرفته شده است. سه بخش اصلی شبیه‌سازی شامل ساختمان، سیستم تغذیه هوا و تجهیزات می‌باشد و بدون هیچگونه فیدبکی در ابتدا و به ترتیب شبیه‌سازی می‌شوند . مفهوم فیدبک به این صورت است که در ابتدا شرایط ساختمان بررسی و سپس شبیه‌سازی صورت می‌گیرد و به سیستم تغذیه هوا فرستاده می‌شود، اما پاسخی که از طرف سیستم تغذیه هوا می‌باشد شرایط ساختمان را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. [۲]

در این نرم‌افزار محاسبه بارها براساس مدل‌های انتقال حرارت که از سطوح ساختمان، به صورت هدایتی، جابجایی و تشعشعی صورت می‌گیرد، انجام شده است و از ویژگی‌های دیگر در نظر گرفتن گرمای نهان اجزاء و طیف‌های مختلف امواج می‌باشد. همچنین شبیه‌سازی بار، با لحاظ کردن افراد، روشنایی‌ها و تجهیزات داخلی و بر هم کنش آنها از دیدگاه هدایتی و ترکیب هوای داخل و خارج صورت می‌گیرد. صورت کلی این بالانس حرارتی به صورت زیر می‌باشد:

$$Q_c + \sum_{i=1}^{Nsurfaces} h_i A_i (T_{si} - T_z) + m_{\inf} C_p (T_\infty - T_z) + \sum_{i=1}^{Nzones} m_i c_p (T_{zi} - T_z) + Q_{sys} = 0 \quad (۱)$$

در رابطه فوق پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$Q_c$ : مجموع بارهای داخلی

$\sum_{i=1}^{Nsurfaces} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ : انتقال حرارت جابجایی ناشی از سطوح

$m_{\inf} C_p (T_\infty - T_z)$ : انتقال حرارت ناشی از هوای بیرون .

$m_i C_p (T_{zi} - T_z)$ : انتقال حرارت ناشی از هوای مخلوط شده در داخل

$Q_{sys}$ : مصرف گرمای انتقال یافته از سیستم

نکته مهم دراین محاسبات آن است که در محاسبات کلیه المان‌ها به صورت تک دما در نظر گرفته می‌شوند. دمای سطوح با توجه به معادله بالانس حرارتی بین داخل و خارج سطوح و با توجه به توابع انتقال حرارت هدایتی مرتبط با سطوح محاسبه می‌گردد. برای محاسبه بار $Q_{sys}$، از یک پروفیل کنترل خطی بر حسب دمای متوسط ناحیه مورد بررسی $T_z$ محاسبه می‌شود.

$$Q_{sys} = mT_z + b \quad (۲)$$

که در آن m شیب پروفیل خطی کنترل و b مختصات عرضی از مبدا آن است.

برای اغلب سیستم‌های شبیه‌سازی شده در BLAST این امکان وجود دارد که $Q_{sys}$ با دبی هوای سیستم و دمای هوا ورودی به صورت زیر در نظر گرفته شود.

$$Q_{sys} = m_{sys} C_p \left(T_{\sup ply} - T_z\right) \quad (۳)$$

دبی هوایی مورد نیاز سیستم تغذیه در قسمت فن آن، تأمین می‌گردد و مبنای آن، تأمین بار حرارتی سیستم ($Q_{sys}$) در هر ساعت می‌باشد. بهینه‌سازی انرژی به گونه‌هایی انجام می‌شود که اختلاف بار ساختمان و خروجی از سیستم برای ایجاد بالانس دقیق، به سمت صفر میل کند.

### نرم‌افزار Energy Plus [۳]

این برنامه به زبان فرترن نوشته شده و به محاسبه انرژی لازم جهت سرمایش و گرمایش ساختمان از منابع مختلف انرژی می‌پردازد. این کار به واسطه شبیه‌سازی ساختمان و انرژی‌های مرتبط با آن در شرایط محیطی و کاری متفاوت انجام می‌گیرد. Energy plus شبیه‌ساز یکپارچه‌ای است که از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: محیط تحت تهویه (ساختمان)، سیستم و تأسیسات. در این نرم‌افزار هر سه قسمت هم زمان با هم تحلیل می‌شوند.

در Energy plus، سیستم، یکپارچه در نظر گرفته می‌شود و عموماً روش‌های حل بر تکرارهای متوالی متکی می‌باشند. تیلور برای شبیه‌سازی سریع در یک فاصله زمانی معین از روش Time marching استفاده کرد که در آن فضای تحت تهویه، به بازه‌های زمانی مرتبط می‌شوند. خطایی که از این روش حاصل می‌شود رابطه تنگاتنگی با بازه‌های زمانی دارد. در صورت کوچکتر کردن آنها گرچه زمان محاسبه بیشتر می‌شود ولی خطا کم می‌شود.

از حل معادله تعادل انرژی، معادل‌های حاصل بدست می‌آید که اساس محاسبات Energy plus می‌باشد.

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{Nst} \dot{Q}_f + \sum_{i=1}^{Nsurfaces} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{Nzones} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{\inf} C_p (T_\infty - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (٤)$$

جمله طرف چپ معادله انرژی ذخیره شده در هوای داخل می‌باشد و جمله اول سمت راست مجموع بارهای جابجایی درونی، جمله دوم انتقال حرارت جابجایی از سطوح ناحیه مورد بررسی، جمله سوم انتقال حرارت ناشی از اختلاط هوا ورودی و جمله چهارم انتقال حرارت ناشی از تغییر دمای هوای خروجی به دمای داخلی را نشان می‌دهد. $Q_{sys}$ نشان‌دهنده بار حرارتی و برودتی است که باید توسط تجهیزات تأمین شود. در شرایط تعادل $dT_z/dt = 0$ خواهد بود.

در این نرم‌افزار شبیه‌سازی حرارتی همراه با آزمون و خطا می‌باشد و بدین صورت است که ابتدا از معادله فوق مقدار انرژی لازم برای برقرار تعادل با محیط تخمین‌زده می‌شود و سپس با توجه به مقدار انرژی تخمین‌زده شده، سیستم شبیه‌سازی می‌گردد و اگر لازم باشد تجهیزات مربوط به تأسیسات نیز شبیه‌سازی می‌گردد. سپس با توجه به توان واقعی دمای محیط محاسبه می‌شود.

**نرم‌افزار BDA [۴]**

این نرم‌افزار قابلیت آنالیز چندگانه و ابزار شیءگرا را دارا است. می‌توان طراحی شماتیک با جزئیات کامل آن را وارد کرد. اساس کار برنامه بر اساس تئوری جامعی طراحی شده است که از نمایش شیءگرای ساختمان و محتویات آن، استفاده می‌کند و عملیات به صورت مدیریت داده‌ها اجرا و پردازش می‌شود. BDA رابط گرافیکی دارد که از دو قسمت اصلی تشکیل یافته است: جستجوگر ساختمان و قسمت تصمیم‌گیرنده کامپیوتر. جستجوگر ساختمان به طراح این اجازه را می‌دهد که سریعاً از بین ابزارهای تصویرگرای متفاوت آدرس‌های صحیح را به BDA ارتباط دهد. در این نرم‌افزار مقادیر داده‌های ورودی را می‌توان تغییر داد همچنین نرم‌افزار به کاربر این اجازه را می‌دهد که تعداد زیادی از طرح‌های جایگزین را با توجه به مشخصات آدرس‌دهی شده توسط ابزار، انتخاب و مقایسه کند.

نسخه اولیه این نرم‌افزار با یک ویرایشگر گرافیکی SGE در ارتباط است . که به کاربر کاملاً این اجازه را می‌دهد که به سرعت و به راحتی مشخصات هندسی محیط و سیستم‌های ساختمان را تعیین نماید. برای هر شیء که در SGE ساخته می‌شود BDA مقادیر پیش فرضی از بانک داده‌هایش (PVD) تخصیص می‌دهد. این نرم‌افزار در نسخه‌های اولیه‌اش دارای تحلیلگر انرژی و روشنایی و یک بانک اطلاعاتی برای پرونده‌های آموزشی (CSD) می‌باشد. نسخه‌های بعدی آن به ابزارهای جدیدی از قبیل یک برنامه دقیق برای نشان دادن گره‌ها و یک برنامه برای تحلیل اقتصادی تجهیز شده است. نسخه‌های جدید BDA کل ساختمان را آدرس‌دهی می‌کنند و دارای ابزاری برای نمایش ساختاری ساختمان می‌باشد.

یک مانع بزرگ بر سر راه استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ساختمان، برای استفاده طراحان ساختمان این است که حجم ورودی‌های موردنیاز نرم‌افزار بسیار زیاد می‌باشد و خروجی‌ها نیز به صورت عدد هستند و مقایسه خروجی‌ها مشکل می‌باشد. اما در BDA شبیه‌سازی سریع‌تر و راحتر صورت می‌گیرد. این نرم‌افزار اجازه استفاده از برنامه‌های شبیه‌ساز پیچیده و پیشرفته از فاز شماتیک ساختمان تا تعیین

جزئیات اجزاء و سیستم‌های ساختمان را به طراح می‌دهد. در BDA استفاده از چندین شبیه‌ساز و بانک داده‌ها به صورت مجتمع، در قالب یک رابط گرافیکی واحد که چندین راه‌حل و تصمیم را ارائه می‌دهد، امکان‌پذیر است.

طراحی BDA براساس چهار بخش زیر است:

- الگوریتم هستهٔ مرکزی BDA شامل کنترل پردازش‌ها و مدیریت داده‌ها
- مدل داده‌های مجتمع برای نمایش ساختمان و اجزاء آن
- یک برنامه رابط کاربردی برای توسعه ارتباط با نرم‌افزارهای دیگر
- یک رابط گرافیکی برای راحتی جستجو و پردازش‌ها

هسته برنامه BDA یک مدل شیءگرا از تمام ساختمان و محتویاتش می‌باشد. این توصیف شامل مشخصات ساختمان و سیستم‌های آن می‌باشد، هسته اصلی برنامه به کاربر اجازه می‌دهد که به راحتی مدل‌های شیءگرای ساختمان را جستجو نماید و محاسبات را توسط برنامه تحلیل‌گر انجام دهد و به BDA متصل نماید و سپس به بررسی بانک داده‌ها، نتایج محاسبات و داده‌ها در یک محیط نمایش متفاوت بپردازد. BDA از یک برنامه شبیه‌سازی حرارتی به نام DOE بهره می‌گیرد. در این برنامه شبیه‌سازی، از انتقال حرارت جابجایی، هدایتی و تشعشعی و غیره که برای محاسبه انتقال حرارت نیاز است استفاده می‌شود.

در BDA به کاربران اجازه داده می‌شود که با استفاده از یک برنامه شیءگرا در شرایط واقعی شیءها (مانند فضاها، دیوارها و غیره) به طراحی بپردازند. که بدین صورت کاربر از مدلهای پیچیده‌ای که هر ابزار شبیه‌ساز نیاز دارد رهایی پیدا می‌کند. مزیت استفاده از شیءگراها در این است که هر شیء نه تنها یک توصیف برای خود دارد، بلکه یک رفتار صریح و واضح در خودش دارد که آن را قادر می‌سازد که عملکردش را مدیریت نماید. در BDA به عنوان مثال، یک دیوار ساختار یک شیء را شامل می‌شود که با آن توصیف می‌شود و دو سطح درونی و بیرونی دارد که اگر یکی از اتاق‌ها حذف شود به صورت خودکار ساختار و محاسبات برای دیوارهای دیگر نیز تغییر خواهد کرد.

رابط گرافیکی BDA، GUT می‌باشد و طوری طراحی شده است که آدرس ورودی‌ها و خروجی‌های مورد نیاز هر ابزار شبیه‌ساز را با یک روش عمومی که مستقل از تفکیک‌پذیری نمایشی است، آماده می‌کند. اساس کار به طراح ساختمان این اجازه می‌دهد که:

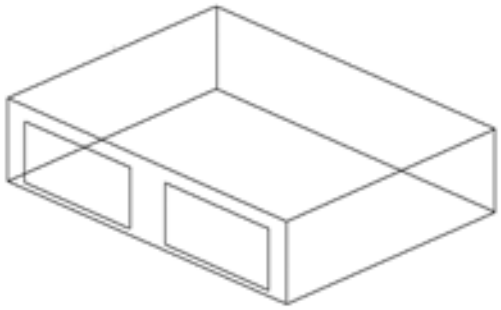
- طراحی‌های متفاوت را با توجه به توصیفات و مشخصات مختلف مقایسه کند
- بررسی و ویرایش تمام مقادیر مشخصات ورودی در یک مود سازگار و مشخص
- انتخاب پارامترهای ورودی و خروجی برای بررسی و مقایسه در طی چندین نمایش انتخاب شده

در نهایت موردی در نظر گرفته شده و حل توسط این سه نرم افزار با هم مقایسه شده است.

**مطالعه موردی**

در این قسمت یک ساختمان که مطالعات موردی آن توسط استاندارد-ANSI/ASHRAE STANDARD 140 2007 انجام شده با سه نرم افزار مورد نظر انجام پذیرفته است. ساختمان مورد نظر یک ناحیه مستطیلی و مجزائی به ابعاد آن ( ۸ متر طول، ۸ متر عرض و ۲,۷ متر ارتفاع). دیوار خارجی وجود ندارد و پنجره‌ای

به مساحت ۱۲ متر مربع در آن تعبیه شده است. 2 متر از دیوار زیر پنجره است و ۰,۵ متر از دیوار بالای پنجره است.



**شکل ۱ـ نمای ایزومتریک ساختمان پایه همراه با پنجره بر روی دیواره‌های جنوبی [۱۰]**

**جدول ۱ـ ساختار دیوار [۹]**

| ماده | ضریب هدایت حرارتی K(W/m-k) | ضخامت (m) | هدایت جابجایی U(w/m$^2$k) | مقاومت ویژه R(m$^2$k/w) | چگالی (kg/m$^3$) | Cp گرمای ویژه (J/kg-k) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب سطح داخلی[1] | | | ۸/۲۹ | ۰/۱۲۱ | | |
| لایه گچی[2] | ۰/۱۶۰ | ۰/۰۱۲ | ۱۳/۳۳۳ | ۰/۰۷۵ | ۹۵۰ | ۸۴۰ |
| روکاری فایبر گلاس[3] | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۶۰۶ | ۱/۶۵۰ | ۱۲ | ۸۴۰ |
| پهلویی چوبی[4] | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۰۹ | ۱۵/۵۵۶ | ۰/۰۶۴ | ۵۳۰ | ۹۰۰ |
| ضریب سطح خارجی[5] | | | ۲۹/۳۰۰ | ۰/۰۳۴ | | |
| ضریب کل هوا به هوا[6] | | | ۰/۵۱۴ | ۱/۹۴۴ | | |

1- Int. Surface Coeff.
2- Plasterboard
3- Fiberglass Quilt
4-Wood Siding
5- Ext. Surface Coeff.
6- Overall, Air-to-Air

## جدول ۲ـ ساختار سقف [۹]

| ماده | ضریب هدایت حرارتی K(W/m-k) | ضخامت (m) | ضریب انتقال حرارت جابجایی U(w/m² k) | مقاومت ویژه R(m²k/w) | چگالی (kg/m³) | Cpگرمای ویژه (J/kg-k) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب سطح داخلی[1] | | | ۸/۲۹ | ۰/۱۲۱ | | |
| لایه گچی[2] | ۰/۱۶۰ | ۰/۰۱۰ | ۱۶ | ۰/۰۶۳ | ۹۵۰ | ۸۴۰ |
| روکاری فایبر گلاس[3] | ۰/۰۴۰ | ۰/۱۱۱۸ | ۰/۳۵۸ | ۲/۷۹۴ | ۱۲ | ۸۴۰ |
| کفی سقف[4] | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۱۹ | ۷/۳۶۸ | ۰/۱۳۶ | ۵۳۰ | ۹۰۰ |
| ضریب سطح خارجی[5] | | | ۲۹/۳۰۰ | ۰/۰۳۴ | | |
| ضریب کل هوا به هوا[6] | | | ۰/۳۱۸ | ۳/۱۴۷ | | |

## جدول ۳ـ ساختار کف [۹]

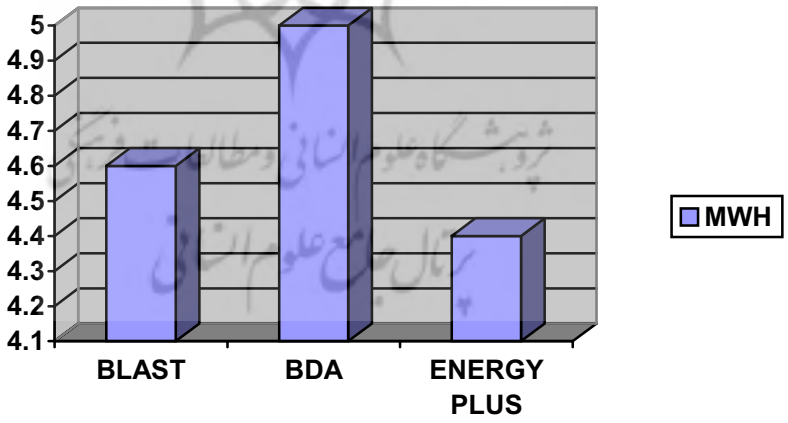
| ماده | ضریب هدایت حرارتی K(W/m-k) | ضخامت (m) | ضریب انتقال حرارت جابجایی U(w/m² k) | مقاومت ویژه R(m²k/w) | چگالی (kg/m³) | Cpگرمای ویژه (J/kg-k) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب سطح داخلی[7] | | | ۸/۲۹ | ۰/۱۲۱ | | |
| روپوش چوبی[8] | ۰/۱۴ | ۰/۰۲۵ | ۵/۶۰۰ | ۰/۱۷۹ | ۶۵۰ | ۱۲۰۰ |
| عایق[9] | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۴۰ | ۲۵/۰۷۵ | | |
| ضریب کل هوا به هوا[10] | | | ۰/۳۹ | ۱۴۷/۳ | | |

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

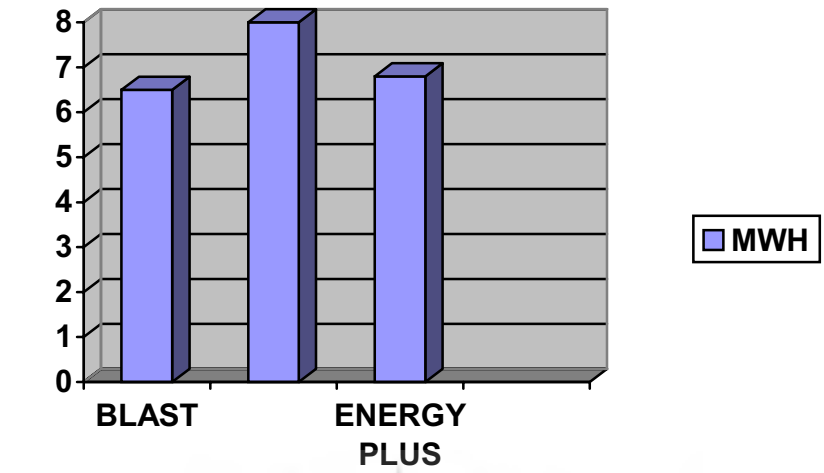
1- Int. Surface Coeff.
2- Plasterboard
3- Fiberglass Quilt
4- roof Deck
5- Ext. Surface Coeff.
6- Overall, air-to-air
7- Int. Surface Coeff.
8- Timber Flooring
9- Insulation
10 Overall, air-to-air

**جدول ۴ـ خصوصیات پنجره [۹]**

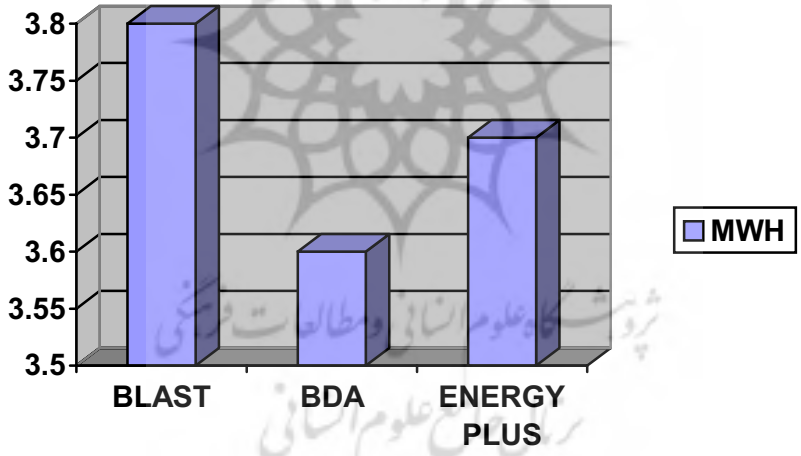
| خواص پنجره | مقدار |
|---|---|
| ضریب کاهش | 0.0196/mm |
| تعداد قاب | 2 |
| ضخامت قاب | 3.175 mm |
| ضخامت شکاف هوا | 13 mm |
| ضریب شکست | 1.526 |
| ضریب انتقال اشعه عمودی از خلال یک قاب | 0.86156 |
| ضریب هدایت حرارتی شیشه | 1.06 W/mK |
| ضریب هدایت حرارتی قاب شیشه | 333 W/m2K |
| ضریب ترکیبی تشعشعی و جابجایی شکاف هوا | 6.297 W/ m2K |
| ضریب ترکیبی سطح بیرونی | 21.00 W/ m2K |
| ضریب ترکیبی سطح درونی | 8.29 W/ m2K |
| ضریب هدایت حرارتی سطح داخلی هوا به محیط | 3.0 W/ m2K |
| شدت نشر اشعه مادون قرمز از روکش شیشه ای | 0.9 |
| چگالی شیشه | 2500 kg/m3 |
| گرمای ویژه شیشه | 750 J/kgK |
| سایبان اخلی | None |
| ضریب سایه قاب دوتایی در برخورد نرمال | 0.907 |
| ضریب گرمای حاصل از خورشید در برخورد نرمال | 0.789 |



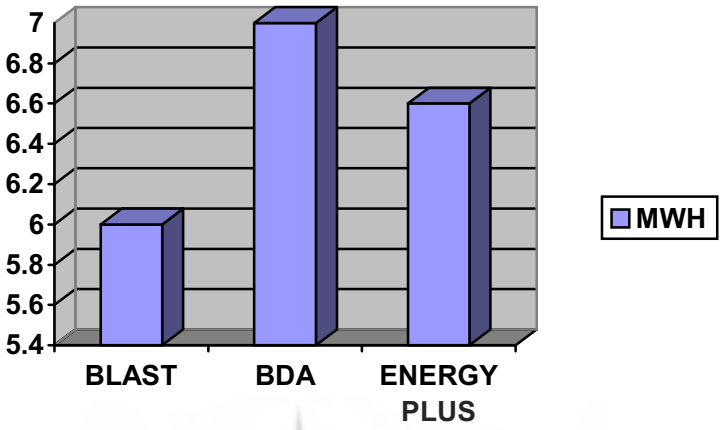

**شکل ۲ـ محاسبه گرمایش سالانه برای مدل شکل شماره (۱) برحسب (MWH) در سه نرم‌افزار**




**شکل ۳ـ محاسبه سرمایش سالانه برای مدل شکل شماره (۱) برحسب (MWH) در سه نرم‌افزار**




**شکل ۴ـ محاسبه بیشترین مقدار گرمایش برای مدل شکل (۱) برحسب (MWH) در سه نرم‌افزار**




**شکل ۵ـ محاسبه بیشترین مقدار سرمایش برای مدل شکل (۱) برحسب (MWH) در سه نرم‌افزار**

## نتایج و جمع‌بندی

تکنیک به کار گرفته شده در نرم‌افزار BLAST برای حالت‌هایی که پاسخ سیستم تنها تابعی از دمای هوا باشد بسیار مناسب است. اما در موقعیت‌هایی که سیستم به پارامترهای خارجی و یا به عوامل دیگری از محیط تهویه وابسته باشد عدم وجود فیدبک مناسب از سیستم به محیط تهویه نتایج غیرقابل قبولی را به دنبال خواهد داشت و در واقع نمیتوان از پروفیل خطی برای $Q_{sys}$ بهره گرفت. برای حل آن از روش تکرار نیوتن‌رافسون استفاده می‌کنند و $T_z$ را تابعی از زمان در نظر می‌گیرند. با کوچک کردن گام‌های زمانی، سیستم را می‌کنند. اما این اقدام باعث بالا رفتن شبیه‌سازی و بوجود آمدن خطاهای برشی می‌شود و این خطاها در درجات پایین تفاضل محدود، زیادتر است.

در Energy plus هر سه مرحله شبیه‌سازی با یکدیگر صورت می‌گیرد در نتیجه اثرات فیدبک در نظر گرفته می‌شود. در این نرم‌افزار نیز از روش آزمون و خطا استفاده می‌شود ولی حتی با در نظر گرفتن بازه‌های زمانی بزرگتری احتمال ناپایداری سیستم کم می‌باشد. در ضمن حجم محاسباتی در این روش زیاد است.

در BDA از ابزار شیءگرا استفاده شده است و قابلیت شبیه‌سازی ساختمان و تجهیزات تأسیسات در آن وجود دارد و این عمل کاربرد را وسیع‌تر و راحت‌تر می‌کند. محیط برنامه هوشمند است و هرگونه تغییرات در جزء، در کل سیستم تأثیر می‌گذارد. برنامه‌های تحلیل‌گر و بانک‌های اطلاعاتی این نرم‌افزار دقت محاسباتی را بالا برده است. اما به دلیل وجود ابزارهای متنوع زیاد برای شبیه‌سازی و طراحی این ابزار توسط محققان، بالطبع ورودی آنها زیاد است که وارد کردن آنها مستلزم داشتن زمان کافی است. در ضمن حجم خروجی‌ها زیاد و مقایسه آنها مشکل است.

| توضیح | علامت اختصاری |
|---|---|
| مجموع بارهای داخلی | $Q_C$ |
| انتقال حرارت جابجایی ناشی از سطوح | $\sum_{i=1}^{Nsurfaces} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ |
| انتقال حرارت ناشی از هوای بیرون | $m_{\inf} C_p (T_\infty - T_z)$ |
| انتقال حرارت ناشی از هوای مخلوط شده در داخل | $m_i c_p (T_{zi} - T_z)$ |
| مصرف گرمای انتقال یافته از سیستم | $Q_{sys}$ |
| دمای متوسط ناحیه مورد بررسی | $T_z$ |

## منابع


1- Craig A . Langston and Grace K Ding, Sustainable Practices in the Built Environment (Second Edition).

2- Mohammad Saad Al Homoud. Computer Aided Building Energy Analysis Techniques, In Building and Environment.

3- Russell D. Taylor, Curtis O. Peder sen, Linda Lawrie , Simulation of Buildings and Mechanical System in Heat Balance Based Energy Analysis Programs , Urbana , I Illinois USA.

4- Development of a Generalized System Simulation for the Building Loads Analysis System Thermodynamic Program (Blast) Thesis by Ral PH RICHARD METCALF, University of Illinois.

5- Papamicheal J . Lapor ta H . Chauvet the Building Design Advisor , University of California Berkley, California.

6- Konstantionos Papamicheal Application of Information Technologies in Building Decisions, University of California Beralely.

7- Energy Plus :News ,Capable and Linked, Drury B.Crawley et al.

8- Energy Plus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001(best_test) Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, California
www.gard.com

9- ANSI/ASHRAE 2001. Standard 140-2001, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.

10- IEA 1995. Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, February 1995.