نشریه علمی
پژوهش‌های تجربی در مهندسی عمران
جلد ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹٤، صص ۹۹ الی ۱۱۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۲
تاریخ تصویب مقاله:۱۳۹۴/۶/۳۰
پایگاه نشریه: http://jerce.srttu.edu

بار آتش در ساختمان‌های مسکونی ایران

سینا حاجی بیگ تهرانی [۱] و محمدحسن کدیور [۲]*

[۱] **دانشجوی کارشناسی ارشد**، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس، شیراز، ایران
[۲] **استاد**، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
kadivar@shirazu.ac.ir

چکیده: اساسی ترین بحث در مطالعه‌ی کاربردی آتش در مهندسی عمران، برآورد بار آتش است که متأثر از روش‌های زندگی و اقلام مصرفی می‌باشد. این مسئله با توجه به استفاده از سازه های حساس به حریق مانند سازه های چوبی تا به کنون بیشتر در کشورهایی چون هند، نیوزیلند، کانادا و فنلاند مورد توجه بوده است.در این مقاله، ضمن تعریف معیارهای مورد بررسی برای بار آتش در ایران و با نمونه‌گیری از تعدادی از منازل مسکونی در شهر شیراز، نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در رابطه با میزان بار آتش در سایر کشورها با کشورمان مقایسه شده‌است. نتایج حاصل از این تحقیق بر اساس دسته‌بندی‌های مختلف از جمله مساحت منزل مسکونی، شماره طبقه، جنسیت کاربران، کاربری فضا و غیره ارائه شده و به علاوه رابطه ای برای حدس تقریبی بار آتش در ساختمانهای مسکونی ایران ارائه شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده بار آتش در ساختمانهای ایران به طور متوسط ۵۴۱/۸ مگاژول بر متر مربع می باشد که نسبت به اکثریت کشورهای جهان رقم قابل توجهی است.

کلمات کلیدی:حرارت، بار آتش، ساختمان‌های مسکونی، مهندسی آتش.

Fire Load in Iran's Residential Buildings

S. Haji BeigTehrani and M.H. Kadivar

Abstract:The most fundamental subject in applicable studies of fire in civil engineering is to evaluate fire load, which is affected by life style and consumable objects of the users. This subject has been considered more in countries like India, New Zealand, Canada and Finland, due to usage of structures sensitive to fire, like wooden structures. In this article, while defining the criteria for fire load evaluation and sampling from a number of residential buildings in Shiraz, the results of the researches done in other countries on fire load is compared with the results achieved in our country, Iran. Meanwhile various approaches of counting burning calories of different places and different household materials are explained. The results of this research are presented in different categories like the area of the residency, story number, sexuality of the users, application of the room and etc. plus a formula for evaluation of fire load in Iranian residential buildings is provided. This Formula, named after main writer of this article, Haji BeigTehrani, is provided based on statistical studies, using different coefficients and the average fire load of a residential building in Iran. Concluding from this research, fire load in Iranian residential buildings is 541.8 Mega joules per square meter in average which is a high value, compared to other countries.

Keywords: Heat, Fire Load, Residential Buildings, Fire Engineering.

۱ - مقدمه

مقدار مواد اشتعال‌پذیر موجود در یک ساختمان را بار آتش می‌گویند و عاملی اساسی در تعیین شدت آتش در صورت وقوع است. در مجموعه کتب مقررات ملی ساختمان در ایران تنها مبحث سوم به طور مشخص به مسئله حریق و آتش‌سوزی پرداخته‌استنامطلوبی است که در ساختمان‌ها اتفاق می‌افتد. تحقیقات آماری نشان داده‌اند که این واقعه در اکثر کشورهای دنیا به وفور دیده می‌شود. در نگاه جدیدی که امروزه به امنیت سازه‌ها می‌شود، آتش‌سوزی در کنار دیگر ریسک‌های موجود همچون بار باد شدید و اضافه بار کاربران حائز اهمیت است. طراحی کاربردی ایمن نسبت به حریق نیازمند دانش کافی نسبت. این کتاب به تعریف و تشریح دستوری راه‌های خروجی از ساختمان‌های مختلف همچون ساختمان‌های مسکونی، تصرف‌های آموزشی – فرهنگی، تصرف‌های درمانی – مراقبتی، تصرف‌های تجاری – اداری، تصرف‌های صنعتی و غیره پرداخته‌است. این کتاب به مسئله‌ی تهویه، نور و علامت‌گذاری این مسیرها و شیوه‌های نگهداری از آنان نیز توجه داشته‌است[۱].

اگرچه که این مجموعه دستورالعمل‌های اجرایی در جایگاه خود ارزشمند است؛ لیکن اساسی‌ترین بحث در مطالعه‌ی کاربردی حریق در مباحث مربوط به مهندسی آتش، برآورد بار آتش است که مبحث سوم مقررات ملی ساختمان ایران به آن اشاره‌ای نکرده‌است. به این مهم، در بسیاری از کشورها همچون نیوزیلند، استرالیا، فنلاند، هند، کانادا و آمریکا بیشتر پرداخته شده‌است که می‌تواند به سبب تمایل به ساختساختمان‌های آسیب‌پذیر نسبت به حریق، علی‌الخصوص سازه‌های چوبی باشد [۲]. در این تحقیق بر روی بار آتش در ساختمان‌های مسکونی تمرکز خواهیم کرد که کمتر از سایر ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۲ - بار آتش

بار آتش ذاتاً مفهومی تصادفی است که علاوه بر وابستگی به زمان به روش زندگی، استانداردهای جامعه و دیگر جنبه‌های فرهنگی و اجتماعی وابسته است. بنابراین مقدار قطعی و دقیقی را نمی‌توان برای آنها تعیین نمود و لذا تنها معیار و وسیله‌ی موجود برای تقریب آنها، آمار گیری است [۳]. تحقیقات انجام شده نشان داده‌است که در رابطه با میزان بار آتش، نوع کاربری سازه، مثلاً مسکونی، اداری، تجاری و غیره، نقش به سزایی دارد. به سبب سادگی، اکثر تحقیقات گذشته بر روی ساختمان‌هایی چون هتل‌ها، ادارات، تالارها و مجتمع‌های تجاری تمرکز داشته‌است اما در این تحقیق تنها ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی قرار گرفته‌است[۴]. البته بعضی از محققین با الهام از دیگر فضاهای کاربری به تخمین بار آتش در ساختمان‌های مسکونی پرداخته‌اند[۵]. با شروع احتراق و وقوع آتش‌سوزی، حرارت تولید می‌شود. مواد مختلف نیز حرارت‌های مختلفی را بر اساس ساختار اتمی خود تولید می‌کنند. به این گرمای آزاد شده، گرمای احتراق یا ارزش کالری گفته می‌شود و معمولاً در واحد کالری بیان می‌گردد. راهنمای بین‌المللی مهندسی آتش[1]جدول شماره (۱) را برای ارزش گرمایی مواد رایج مصرفی در منازل ارائه کرده‌است[۶]. بار آتش را با نسبت انرژی حرارتی قابل تولید در هر متر مربع منزل یا طبقه مسکونی تعریف می‌کنند. فرمول (۱) تعریف بار آتش می‌باشد.

$$q_c = \frac{\sum m_v h_v}{A_f} \qquad (۱)$$

در این رابطه q_c، A_f، m_v و H_v به ترتیب بار آتش (MJ/m^2 یا $Mcal/m^2$)، مساحت (m^2)، جرم هر یک از مواد اشتعال‌پذیر (kg) و ارزش گرمایی مؤثر هر یک از مواد (MJ/kg یا Mcal/kg) می‌باشد.

۳ -بررسی مقدار بار آتش در ساختمان‌های مسکونی ایران

این بررسی در ماه‌های بهمن و اسفند سال ۱۳۹۲ در ۳۰ واحد مسکونی با مجموع مساحت مفید ۳۴۶۷ متر مربع در شهر شیراز انجام گرفته‌است. کلیه‌ی منازل دارای حداقلیک اتاق خواب بوده و از بررسی سوئیت‌ها اجتناب شده‌است. بعلاوه سعی شده‌است تا نمونه‌های تصادفی مورد استفاده دارای ویژگی‌های منحصر به فرد خود باشند.

[1] International Fire Engineering Guidelines

جدول ۱: ارزش کالری مواد مختلف بر اساس راهنمای بین المللی مهندسی آتش

مواد جامد			مواد پلاستیک		
نام ماده	ارزش گرمایی (MJ/kg)	ارزش گرمایی (Mcal/kg)	نام ماده	ارزش گرمایی (MJ/kg)	ارزش گرمایی (Mcal/kg)
پشم	۲۳	۵/۵	اکریلیک	۲۸	۶/۷
لباس	۱۹	۴/۵	اپوکسی	۳۴	۸/۱
وسایل آشپزخانه	۱۸	۴/۳	پلی استر	۳۱	۷/۴
چرم	۱۹	۴/۵	پلی استایرین	۴۰	۹/۵
کاغذ و مقوا	۱۷	۴	پلی کربنات	۲۹	۶/۹
لاستیک	۳۲	۷/۶	پلی پروپلین	۴۳	۱۰/۳
ابریشم	۱۹	۴/۵	پلی اتان	۲۶	۶/۲
چوب	۱۸	۴/۳	پلی وینیل کلرید	۱۷	۴

از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به مساحت مفید واحد مسکونی، منطقه قرارگیری ساختمان، وضعیت مالی ساکنان، جنسیت و تعداد افراد ساکن، تعداد اتاق خواب و طبقه قرارگیری منزل در صورت قرارگیری در آپارتمان اشاره‌کرد.

همانطور که واضح است اندازه‌گیری جرم تک تک وسایل موجود در یک منزل نه تنها میسر نیست بلکه در بعضی موارد قید و بندهای شرعی و اجتماعی نیز سد راه خواهد شد. برای حل این معضل از اندازه‌گیری حجمی و سپس حصول جرم با استفاده از چگالی‌های پذیرفته شده در سایت‌های معتبر بین‌المللی، بهره گرفته شده‌است[۷]. همچنین برای وسایلی چون البسه گوناگون، ابتدا وزن واحد با استفاده از وسایل قابل دسترسی بدست آمده و بعد از آن با حجم‌گیری در نمونه‌ها، جرم مورد نظر حاصل شده‌است. چندین بار آزمون این روش نشان داد که نتایج بسیار قابل قبولی بدست خواهد آمد.

بار آتش مربوط به درها، پنجره‌ها و سایر وسایلی که جنبه بیرونی از هر فضای کاربری خاص داشتند تنها به همان فضا اختصاص داده شده‌است. خانه‌هایی که در زیر زمین قرار داشته‌اند در این تحقیق گنجانده نشده‌اند و مساحت مربوط به فضاهای مشاع همچون راه‌پله‌ها، حیاط خلوت، نورگیر و غیره در محاسبات مربوط به طبقات لحاظ نشده‌است.

همچنین لازم به ذکر است که مساحت ذکر شده برای فضاهای مختلف، فضای مفید آن فضاست و از در نظر گرفتن مساحت مربوط به دیوارها خودداری شده‌است.در این تحقیق پرسشنامه‌ی عمومی تنظیم نشده‌است و خود محققینشخصاً بر جمع‌آوری داده‌ها نظارت داشته‌اند. وسایل مورد بررسی در این تحقیق شامل اسباب‌بازی‌ها و عروسک‌ها، انواع پرده، بالش‌ها، بوفه‌ها، پارچه‌ها، پارکت و لمینت و کف‌پوش منازل، پتو و لحاف، کلیه البسه، تخت خواب‌ها، کمدها، کابینت‌ها و وسایل آشپزخانه‌ای غیر فلزی، وسایل صوتی تصویری و کامپیوترها و لوازم خانگی، فرش‌ها، کتب و مقواها، مبل و صندلی و موکت و مواد غذایی، انواع میزها و رختخواب‌ها و بطری‌ها و وسایل پلاستیکی بوده‌است. همچنین در رابطه با وسایلی که معمولاً در منازل در حال جابجایی هستند فضایی که بیشتر در آن موجود هستند به عنوان محل حضور آن جسم ثبت شده‌است. نتایج اعلام شده در این تحقیق بر اساس سه فرضیه‌ی زیر می‌باشند:

۱. توزیع مواد اشتعال‌پذیر در ساختمان یکنواخت است.
۲. کلیه‌ی مواد اشتعال‌پذیر در آتش‌سوزی مشارکت دارند.
۳. احتراق مواد اشتعال‌پذیر کامل بوده و نرخ تولید حرارت برای کلیه‌ی وسایل یکسان است.

۴ - نتایج تحقیق

در جداولی که در ادامه آورده شده‌است به شرح داده‌های خروجی پرداخته‌ایم. ابتدا در بخش ۴-۱ به بررسی تغییر بار آتش بر اساس جزئیات کاربری فضاها پرداخته‌ایم و پس از آن در بخش ۴-۲ این تغییرات بر اساس سایر معیارها آورده شده‌است.

۴ - ۱ - تقسیم‌بندی نتایج بر اساس کاربری فضاها

جدول شماره (۲) شرحی از وضعیت مساحت خانه‌های مورد بررسی همراه با شرح وضعیت فضاهای اختصاصی آنها می‌باشد. همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده‌است، ۳۰ خانه که شامل ۱۶۶ فضای کاربری بوده‌اند مورد بررسی قرار گرفته‌است. میانگین مساحت منازل m^2 ۱۱۵/۵ و میانگین مساحت فضاهای کاربری m^2 ۲۰/۱ بوده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشترین فضاهای کاربری مورد بررسی هال و پذیرایی، اتاق خواب و آشپزخانه می‌باشد.

در جدول (۳) اثر کاربری فضا بر بار آتش و در جدول (۴) درصد تراکم حرارت احتراق آنها آورده شده‌است. لازم به ذکر است که مقصود از درصد تراکم حرارت، نسبت حرارت تولید شده در فضای مورد نظر به کل حرارت آن واحد مسکونی است. برای کل منازل مورد بررسی، حداقل بار آتش ۱۹۹/۹ مگاژول بر متر مربع و حداکثر ۹۸۱/۴ مگاژول بر متر مربع می‌باشد. به علاوه میانگین بار آتش برای نمونه‌ها، ۵۴۱/۸ مگاژول بر متر مربع و انحراف معیار نتایج ۱۸۶/۵مگاژول بر مترمربع است.

جدول ۳: مقدار بار آتش بر اساس فضاهای کاربری مختلف

کاربری فضا	بار آتش (MJ/m^2)			
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
هال و پذیرایی	۱۳۴/۸	۶۹۷/۴	۳۲۷/۳	۱۳۹/۱
اتاق خواب	۱۶۶/۷	۲۰۳۸/۵	۹۵۶/۷	۴۳۹
اتاق مهمان/کار	۳۹۰/۳	۸۸۴/۷	۶۷۴/۵	۱۸۵/۷
آشپزخانه	۱۴۳/۵	۱۶۶۹/۱	۶۶۶/۳۵	۳۵۳/۶
حمام و دستشویی	۳۲/۷	۵۲۷/۳	۲۰۰/۶	۱۱۷/۶
انبار	۹۱/۱	۱۷۴۹/۱	۸۰۷/۷	۵۲۱/۶
کل منازل	۱۹۹/۹	۹۸۱/۴	۵۴۱/۸	۱۸۶/۵

جدول ۴: درصد تراکم حرارت احتراق بر اساس فضاهای کاربری مختلف

کاربری فضا	درصد تراکم حرارت احتراق (٪)			
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
هال و پذیرایی	۱۴/۷	۴۸/۵	۲۹/۱	۸/۱
اتاق خواب	۷/۰	۵۴/۰	۲۴/۵	۱۱/۷
اتاق مهمان/کار	۹/۵	۲۲/۹	۱۳/۷	۴/۸
آشپزخانه	۳/۸	۳۵/۸	۱۶/۵	۸/۱
حمام و دستشویی	۰/۴	۵/۴	۲/۱	۱/۴
انبار	۰/۹	۲۵/۷	۷/۹	۷/۳

جدول ۲: شرح وضعیت مساحت فضاهای مورد بررسی

کاربری فضا	تعداد نمونه	مساحت کل (m^2)	درصد از کل مساحت مورد بررسی (٪)	حداقل مساحت (m^2)	حداکثر مساحت (m^2)	میانگین مساحت (m^2)
هال و پذیرایی	۳۰	۱۷۱۱/۴	۴۹/۳	۱۷/۹	۱۶۵/۷	۵۷/۰
اتاق خواب	۵۴	۹۲۱/۳	۲۶/۶	۱۰	۳۶/۴	۱۶/۷
اتاق مهمان/کار	۷	۹۷/۰	۲/۸	۱۱/۷	۱۹/۰	۱۳/۹
آشپزخانه	۳۰	۴۳۹/۶	۱۲/۷	۵/۴	۵۰/۸	۱۴/۶
حمام و دستشویی	۳۰	۱۸۲/۵	۵/۳	۲/۳	۱۸/۷	۶/۱
انبار	۱۵	۱۱۵	۳/۳	۱/۶	۲۹/۷	۷/۷
کل فضاها	۱۶۶	۳۴۶۶/۷	۱۰۰	۷/۸	۴۸۶/۹	۲۰/۱
کل منزل	۳۰	۳۴۶۶/۷	۱۰۰	۳۸/۹	۳۹۶/۴	۱۱۵/۵

در ادامه نمودار فراوانی و درصد فراوانی تجمعی برای بار آتش در هر یک از فضاهای کاربری در شکلهای (۱) الی (۱۲) آورده شده‌است. اهمیت این نمودارها در آن است که برخی از محققین معتقدند که بار آتش را باید به جای مقدار میانگین، برابر با مقدار متناظر با ۸۰٪ فراوانی تجمعی در نظر گرفت. همانطور که در این نمودارها ملاحظه می‌شود این مقدار برای هال و پذیرایی ۴۲۶، اتاق خواب ۱۳۱۲، اتاق مهمان/کار ۴۳۸، آشپزخانه ۷۸۹، حمام و دستشویی ۲۴۳ و انبار ۱۲۰۰ در واحد مگاژول بر متر مربع است.

در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نمودار فراوانی و درصد فراوانی تجمعی بار آتش برای کل منازل آورده شده‌است. همچنین در شکل (۱۵) نمودار درصد فراوانی تجمعی بار آتش برای کلیه‌ی فضاهای کاربری در کنار نتایج مربوط به کل منازل برای مقایسه آورده شده‌است. در کل نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که توزیع بار آتش از مدل توزیع یکنواخت تبعیت می‌کند.

در برآورد تجمعی بار آتش با توجه به مقدار بیشتر از ۸۰ درصد از نمونه‌های برداشت شده نسبت اندازه‌ای بار آتش فضاهای مختلف قابل استنباط است.

همانطور که پیش از این نیز اشاره کردیم مقدار بار آتش ۸۰ درصد از نمونه‌های اخذ شده نشان از آن دارد که بار آتش انبار بزرگترین و بار آتش حمام و دستشویی کوچکترین است. از نمودار شکل (۱۵) می‌توان میانه‌ی داده‌های برداشت شده را با توجه به مقدار درصد فراوانی تجمعی ۵۰ درصد نیز استخراج نمود. مقدار مربوط به حداکثر بار آتش برداشت شده هر یک از فضاها نیز با اولین نقطه برخورد هر یک از خطوط با محور ۱۰۰ درصد قابل استخراج است. همانطور که در جداول نیز بدان اشاره نمودیم حداکثر بار آتش برداشت شده مربوط به اتاق خواب و حداقل آن مربوط به حمام و دستشویی است.

هرچه شیب متوسط نمودارها بیشتر باشد نشان از پراکندگی بیشتر داده ها و انحراف معیار بیشتر آن دارد. بر این اساس و با توجه به جدول شماره (۳) بیشترین انحراف معیار مربوط به نتایج برداشت شده از انبار است.

۲-۴-تقسیم‌بندی نتایج بر اساس دیگر پارامترهای انسانی

در این تحقیق عوامل انسانی و موقعیتی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌است. جداول (۵) الی (۹) که در ادامه آورده شده‌اند به بررسی تغییرات بار آتش بر اساس پارامترهایی چون طبقه‌ی ارتفاعی محل سکونت، وضعیت مالی ساکنان، تعداد کاربران، تعداد اتاق‌ها و مساحت واحد مسکونی پرداخته‌است.

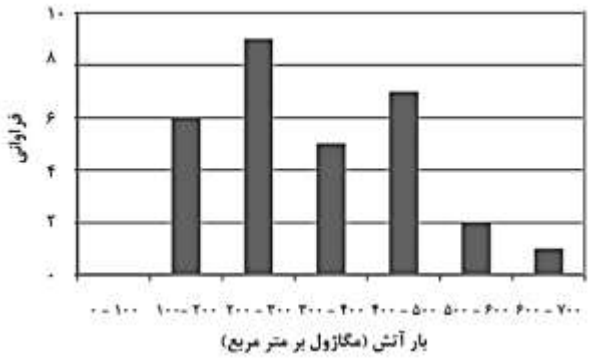
لازم به ذکر است که مقصود از تعداد اتاق‌ها، مجموع اتاق‌های خواب و اتاق‌های مهمان/کار است. همچنین مجدداً متذکر می‌شویم که مساحت ذکر شده و در نظر گرفته شده برای اخذ کلیه‌ی این نتایج تنها مساحت مفید هر فضا می‌باشد و از در نظر گرفتن مساحت‌هایی که وسایل زندگی در آنها امکان قرار داشتن ندارد خودداری شده‌است.

جدول ۵: اثر شماره طبقه بر بار آتش کل واحد مسکونی

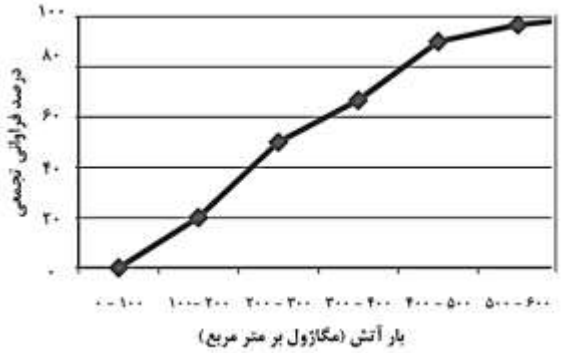
شماره طبقه	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
همکف	۱۰	۳۳۳/۰	۸۷۵/۹	۵۴۱/۴	۱۵۸/۷
طبقه اول	۵	۱۹۹/۹	۶۸۴/۳	۴۱۸/۸	۱۶۹/۵
طبقه دوم	۹	۳۱۹/۲	۸۳۸/۰	۵۵۱/۰	۱۵۴/۵
طبقه سوم	۴	۳۹۷/۰	۹۸۱/۴	۶۹۰/۶	۲۴۹/۲
طبقه چهارم	۲	۴۱۷/۲	۶۰۸/۰	۵۱۲/۶	۹۵/۴

جدول ۶: اثر وضعیت مالی ساکنان بر بار آتش کل واحد مسکونی

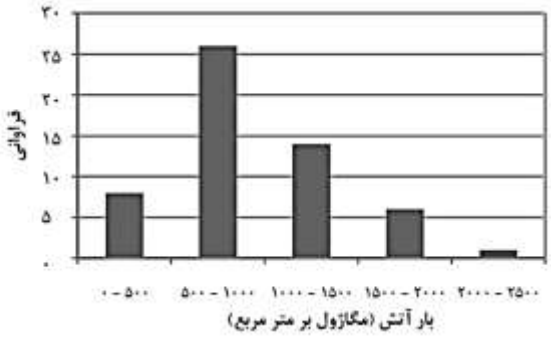
وضعیت مالی	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
ضعیف	۵	۱۹۹/۹	۴۹۵/۱	۳۷۰/۰	۹۵/۷
متوسط	۸	۴۱۱/۸	۸۸۹/۰	۶۸۶/۳	۱۶۵/۹
خوب	۱۰	۳۳۳/۰	۹۸۱/۴	۵۵۰/۰	۱۷۸/۳
عالی	۷	۳۱۹/۲	۶۲۹/۴	۴۸۶/۴	۱۳۲/۴



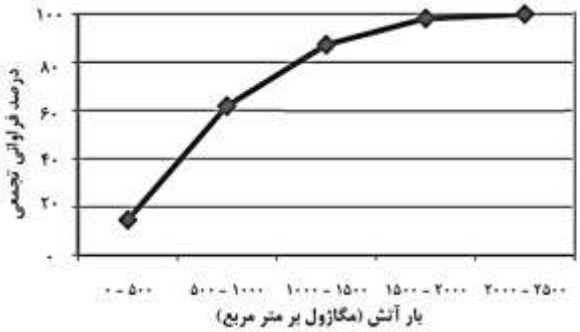
شکل ۱: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از هال و پذیرایی نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



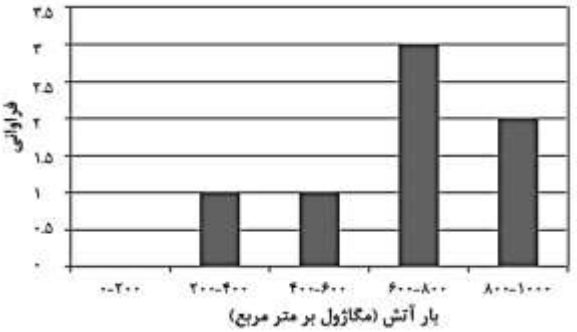
شکل ۲: درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از هال و پذیرایی نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



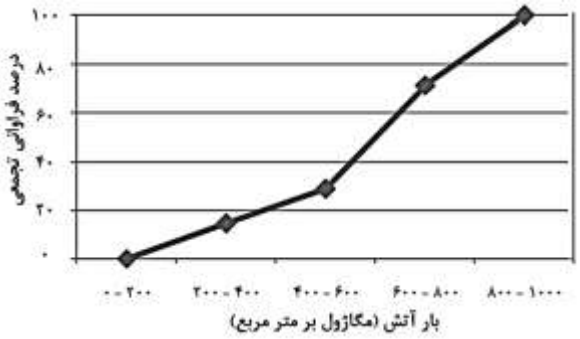
شکل ۳: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از اتاق خواب نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



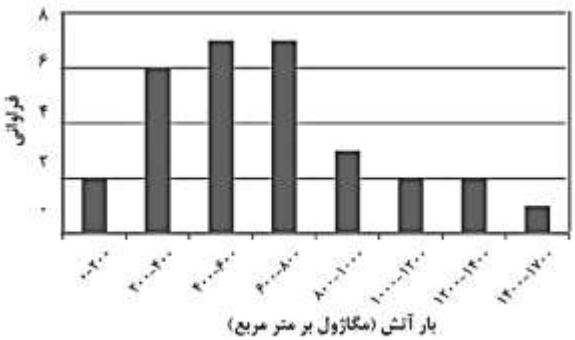
شکل ۴:درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از اتاق خواب نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



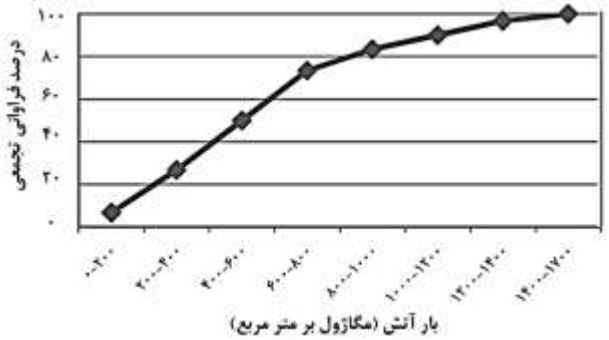
شکل ۵: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از اتاق مهمان/کار نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



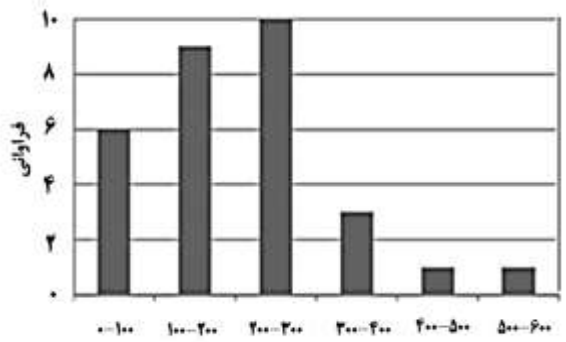
شکل ۶:درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از اتاق مهمان/کار نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



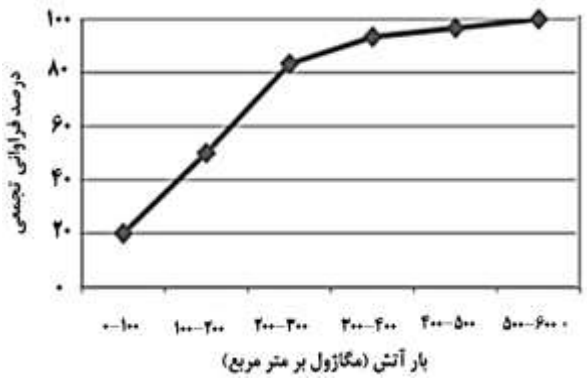
شکل ۷: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از آشپزخانه نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



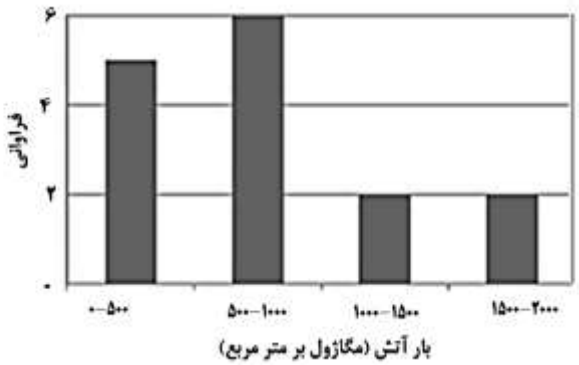
شکل ۸: درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از آشپزخانه نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



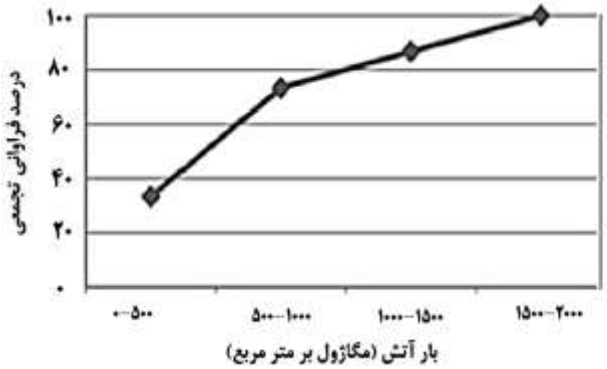
شکل ۹: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از حمام و دستشویی نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



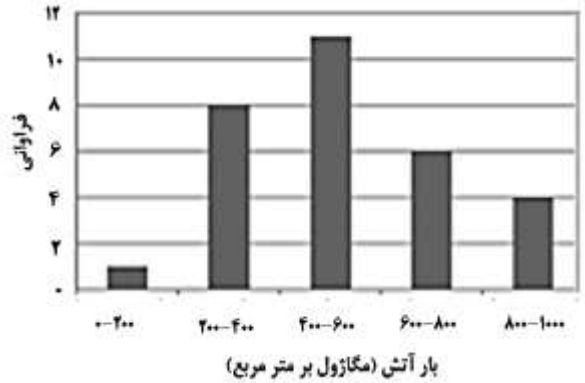
شکل ۱۰: درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از حمام و دستشویی نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



شکل ۱۱: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از انبارها نسبت به بار آتش (MJ/m^2)

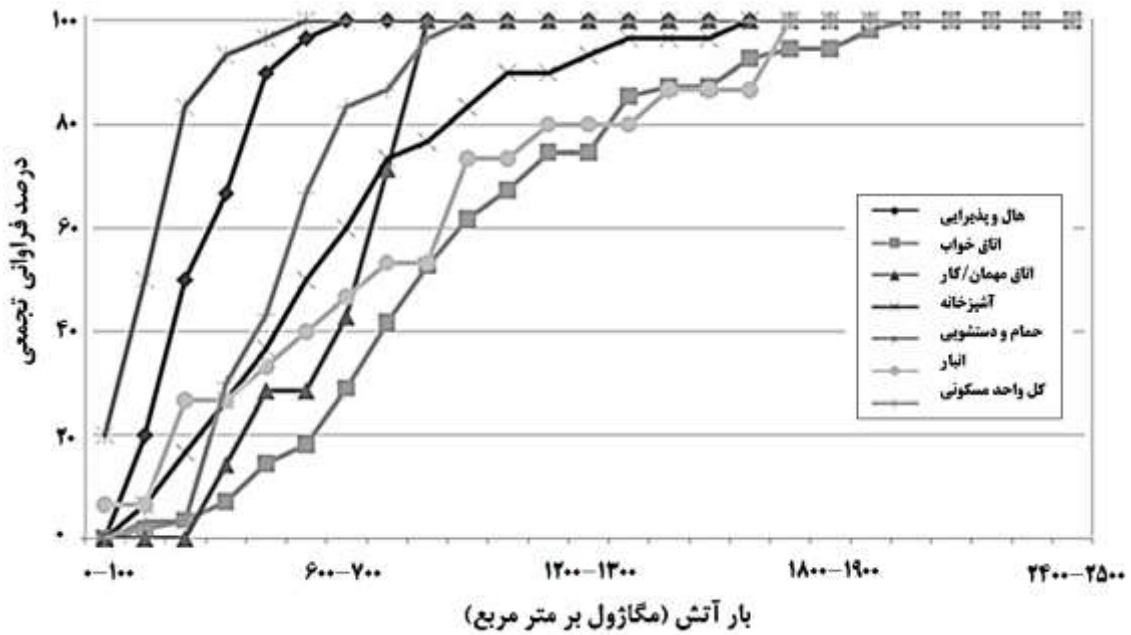


شکل ۱۲: درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از انبارها نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



شکل ۱۳: فراوانی نمونه‌های اخذ شده از کل منازل نسبت به بار آتش (MJ/m^2)

شکل ۱۴: درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از کل منازل نسبت به بار آتش (MJ/m^2)



شکل ۱۵: درصد فراوانی تجمعی نمونه‌های اخذ شده از کل فضاها در کنار نتایج مربوط به کل منازل نسبت به بار آتش (MJ/m^2)

جدول ۷: اثر تعداد کل ساکنان بر بار آتش کل واحد مسکونی

تعداد ساکنان	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۱	۹	۳۱۰/۲	۷۵۱/۱	۴۸۶/۹	۱۴۳/۶
۲	۶	۲۰۰/۰	۸۷۵/۹	۴۹۳/۰	۲۱۰/۸
۳	۷	۳۱۶/۱	۹۸۱/۴	۵۷۹/۹	۲۰۹/۹
۴ نفر به بالا	۸	۳۹۷/۰	۸۸۹/۰	۶۰۶/۹	۱۵۷/۱

جدول ۸: اثر تعداد اتاق بر بار آتش کل واحد مسکونی

تعداد اتاق	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۱	۱۰	۳۸۷/۷	۸۷۵/۹	۵۴۵/۱	۱۶۵/۴
۲	۱۱	۱۹۹/۹	۹۸۱/۴	۵۲۳/۳	۲۳۵/۸
۳	۷	۳۳۳/۰	۸۸۹/۰	۵۴۰/۱	۱۶۳/۳
۴ به بالا	۳	۵۵۳/۳	۶۹۲/۴	۵۹۶/۶	۶۸/۹

جدول ۹: اثر مساحت بر بار آتش کل واحد مسکونی

مساحت واحد (m^2)	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کمتر از ۷۰	۵	۳۹۶/۴	۷۵۱/۱	۵۶۹/۶	۱۴۲/۹
۷۰ الی ۱۲۰	۱۶	۱۹۹/۹	۹۸۱/۴	۵۷۹/۵	۲۱۰/۰
۱۲۰ الی ۲۰۰	۷	۳۱۹/۲	۶۹۲/۴	۴۵۰/۵	۱۳۸/۶
بیش از ۲۰۰	۲	۴۱۷/۲	۵۴۶/۲	۴۹۰/۷	۷۳/۵

در جدول شماره (۱۰) نیز تلفیقی از اثر تعداد اتاق‌های واحد مسکونی و کاربری فضا نشان داده شده‌است. همچنین در بررسی‌های انجام شده جنسیت افراد ساکن در واحد مسکونی و تأثیر آن بر مقدار بار آتش نیز مورد توجه قرار گرفت.جداول (۱۱) و (۱۲) با دو تقسیم‌بندی متفاوت به تغییرات بار آتش نسبت به حضور جنسیت‌های مختلف در یک منزل می‌پردازند. لازم به ذکر است که کلیه‌ی پسران و دختران زیر ۱۲ سال به عنوان کودک لحاظ شده‌اند. همانطور که در جدول (۱۲) مشاهده می‌کنید با حضور زنان و سپس با حضور کودکان بار آتش میانگین واحدهای مسکونی در نظر گرفته شده افزایش می یابد. انحراف معیار مربوط به دسته‌بندی‌هایی که تنها یک نمونه از آنها اخذ شده است صفر می باشد.

جدول ۱۰: اثر تعداد اتاق‌های منزل و کاربری فضا بر بار آتش

نوع خانه	کاربری فضا	تعداد نمونه	مساحت کل نمونه‌ها (m^2)	بار آتش (MJ/m^2)			
				حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
یک خوابه	هال و پذیرایی	۱۰	۳۰۶/۰	۱۷۰/۶	۶۹۷/۴	۳۶۶/۶	۱۶۵/۹
	اتاق خواب	۱۰	۱۴۳/۲	۴۹۹/۶	۱۹۶۳/۹	۱۰۶۷/۱	۴۹۲/۵
	آشپزخانه	۱۰	۱۰۶/۶	۱۴۳/۵	۱۰۷۹/۵	۶۰۷/۰	۲۸۰/۵
	حمام و دستشویی	۱۰	۴۸/۱	۳۳/۰	۳۴۴/۳	۱۵۴/۵	۹۶/۳
	انبار	۵	۳۲/۵	۹۷/۱	۹۳۷/۶	۴۴۷/۷	۳۱۷/۸
دو خوابه	هال و پذیرایی	۱۰	۶۴۳	۱۳۴/۸	۴۹۵/۳	۳۰۸/۷	۱۱۹/۴
	اتاق خواب	۱۶	۲۶۸/۶	۱۶۶/۷	۲۰۳۸/۵	۸۹۹/۲	۵۸۹/۱
	اتاق مهمان/کار	۴	۵۹/۲	۴۰۹/۳	۸۸۴/۷	۶۸۳/۲	۱۷۷/۰
	آشپزخانه	۱۰	۱۴۹/۰	۲۵۲/۵	۱۳۴۴/۵	۷۱۵/۷	۳۴۱/۹
	حمام و دستشویی	۱۰	۵۷/۱	۳۴/۲	۵۲۷/۳	۲۶۹/۲	۱۲۷/۰
	انبار	۵	۲۸/۵	۲۴۲/۳	۱۷۳۳/۹	۱۰۱۴/۷	۵۳۱/۹
سه خوابه	هال و پذیرایی	۷	۴۱۹/۴	۱۷۵/۰	۴۶۹/۷	۲۷۰/۷	۱۰۴/۹
	اتاق خواب	۲۰	۲۸۹/۶	۴۱۰/۴	۱۴۹۹/۰	۹۶۳/۰	۲۹۶/۹
	اتاق مهمان/کار	۱	۱۲	۳۹۰/۳	۳۹۰/۳	۳۹۰/۳	۰
	آشپزخانه	۷	۱۰۲/۸	۲۷۷/۰	۱۰۶۱/۹	۵۷۱/۶	۲۹۰/۰
	حمام و دستشویی	۷	۴۸/۳	۳۲/۷	۲۹۹/۳	۱۷۲/۶	۹۱/۲
	انبار	۳	۲۲/۲	۵۲۲/۵	۱۱۹۹/۸	۸۸۳/۶	۲۷۸/۳
چهار خوابه و بیشتر	هال و پذیرایی	۳	۳۴۲/۹	۲۵۷/۶	۵۰۹/۵	۳۹۰/۹	۱۰۳/۳
	اتاق خواب	۱۰	۲۱۹/۹	۵۳۱/۹	۱۳۴۹/۶	۹۲۶/۶	۲۵۷/۹
	اتاق مهمان/کار	۲	۲۵/۸	۷۵۶/۰	۸۴۲/۹	۷۹۹/۴	۴۳/۵
	آشپزخانه	۳	۸۱/۳	۳۸۷/۴	۱۶۶۹/۱	۹۲۰/۷	۵۴۴/۹
	حمام و دستشویی	۳	۲۹/۰	۱۰۷/۲	۳۲۶/۸	۱۹۰/۶	۹۷/۱
	انبار	۲	۳۱/۸	۴۰۳/۶	۱۷۴۹/۱	۱۰۷۶/۴	۶۷۲/۷

جدول ۱۱: اثر وضعیت اسکان جنسیت‌های مختلف بر بار آتش کل واحد مسکونی

وضعیت اسکان جنسیت‌ها	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
فقط مردان	۷	۳۱۰/۲	۷۵۱/۱	۴۸۰/۴	۱۵۶/۳
مردان همراه با زنان	۱۴	۱۹۹/۹	۹۸۱/۴	۵۷۲/۴	۲۳۲/۰
فقط زنان	۵	۳۹۲/۸	۶۰۰/۶	۴۹۶/۲	۹۱/۱
مردان و زنان همراه با کودکان	۴	۵۳۳/۳	۶۹۲/۴	۵۹۹/۵	۵۹/۸

جدول ۱۲: اثر تعداد و جنسیت کاربران بر بار آتش کل واحد مسکونی

تعداد و جنسیت	تعداد نمونه	بار آتش (MJ/m^2)			
		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۱ مرد	۶	۳۱۰/۲	۷۵۱/۱	۴۹۹/۵	۱۶۱/۱
۱ زن	۳	۳۹۲/۸	۵۹۶/۰	۴۶۱/۷	۴۹/۹
۲ مرد	۱	۳۶۵/۹	۳۶۵/۹	۳۶۵/۹	۰
۲ زن	۱	۴۹۵/۱	۴۹۵/۱	۴۹۵/۱	۰
۳ زن	۱	۶۰۰/۶	۶۰۰/۶	۶۰۰/۶	۰
۱ مرد و ۱ زن	۴	۱۹۹/۹	۸۷۵/۹	۵۲۴/۳	۲۴۸/۳
۲ مرد و ۲ زن	۶	۳۹۷/۰	۸۸۹/۰	۶۲۶/۳	۱۷۶/۹
۲ مرد و ۱ زن	۳	۳۳۳/۰	۹۸۱/۴	۶۱۴/۱	۲۷۱/۶
۱ مرد و ۲ زن	۱	۳۱۶/۱	۳۱۶/۱	۳۱۶/۱	۰
۱ مرد و ۱ زن و ۱ کودک	۲	۶۰۸/۰	۶۹۲/۴	۶۵۰/۲	۴۲/۲
۲ مرد و ۱ زن و ۱ کودک	۱	۵۳۳/۳	۵۳۳/۳	۵۳۳/۳	۰
۲ مرد و ۲ زن و ۱ کودک	۱	۵۶۴/۲	۵۶۴/۲	۵۶۴/۲	۰

۳-۴- مدل پیشنهادی برآورد تقریبی بار آتش

بررسی پارامترهای انسانی مختلف که در جداول (۵) الی (۱۲) آورده شده است حاکی از تأثیر بیشتر پارامترهای وضعیت مالی، جنسیت افراد ساکن در واحد مسکونی و مساحت واحد مسکونی می‌باشد. در این پژوهش فرمول (۲) را به عنوان مدلی برای تقریب بار آتش یک واحد مسکونی در فضای مفید آن (بدون در نظر گرفتن مساحت دیوارها و غیره) ارائه می‌شود:

$$FL = FC \times GC \times AC \times FL_{base} \qquad (۲)$$

ضرایب اصلاحی FC، GC و AC در جدول (۱۳) تعریف شده‌اند. این ضرایب به ترتیب ضریب مالی[۲] ضریب جنسیتی[۳] و ضریب مساحتی[۴] می‌باشند. پارامتر FL_{base} نیز بار آتش پایه می‌باشد که برابر با میانگین حاصل از نمونه‌های اخذ شده است. این مقدار برابر با ۵۴۱/۸ مگاژول می‌باشد.

شکل (۱۶) نتایج حاصل از نمونه‌های برداشت‌شده و نتایج بدست‌آمده از فرمول (۲) را به صورت نمودار مقایسه ای نشان داده‌است و به نظر می‌رسد که تنها با در نظر گرفتن این سه فاکتور، نتایج تقریبی تقارب مناسبی با نتایج واقعی داشته‌اند.برای آزمون این مدل از دو روش استفاده شده‌است. روش اول، بررسی ضریب تعیین[۵] معروف به ضریب R^2 است کههمواره مقداری بین ۰ تا ۱ می‌باشد. این ضریب، نسبتی است که صحت داده‌های مفروض برای یک مدل آماری را بیان می‌کند. این فاکتور بر اساس فرمول (۳) محاسبه می‌شود[۸].

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} = 1 - \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2} \qquad (۳)$$

در این رابطه پارامترهای y_i، $\hat{y}_i$، و $\bar{y}$ به ترتیب نتایج مشاهده‌ای، نتایج حاصل از مدل و میانگین نتایج مشاهده‌ای می‌باشند. با توجه به اخذ مقدار ۰/۶ برای ضریب تعیین و نظر به تعداد پایین نمونه‌ها مدل مناسب به نظر می‌رسد. روش دوم مورد استفاده نیز استفاده از آزمون تی استیودنت (t) دو طرفه برای مقایسه‌ی تساوی بین میانگین دو مجموعه می‌باشد. فرمول این آزمون در فرمول (۴) آورده شده‌است (شلدون راس، ۱۳۷۹: ۲۵۹).

$$T = \frac{\overline{Y_1} - \overline{Y_2}}{\sqrt{S_1^2/N_1 + S_2^2/N_2}} \qquad (۴)$$

محاسبات بر روی داده‌های اخذ شده و نتایج حاصل از فرمول نشان می‌دهد که مقدار T برای این تحقیق برابر با ۰,۳۵ می‌باشد. با توجه به جداول آماری مربوط به این موضوع و درجه آزادی برابر با ۲۹ مقدار t در آزمون دو طرفه در سطح معنی دار α=۰/۰۵ برابر با ۲/۰۴۵ می‌باشد که حکایت از صحت این آزمون و برابری میانگین احتمالی نتایج این دو مجموعه دارد.

۵ - بار آتش در سایر کشورها

می‌توان گفت که در سایر کشورها، به همین روش، بار آتش برآورد شده‌است. جدول (۱۴) به بار آتش در کشورها یا تحقیقات مختلف اشاره دارد[۹]. همانطور که مشاهده می‌کنید در بین کشورهای مختلف نیز اختلاف بین بار آتش بسیار است که قطعاً می‌تواند تابعی از کلیه‌ی عوامل مذکور در این تحقیق باشد. صد البته ثبت تاریخ در نتایج اعلام شده برای این مقدار نیز بسیار مهم است. چرا که در دهه‌های مختلف، با تغییر روش‌های زندگی و اقلام مصرفی در منازل، بار آتش می‌تواند مقدار متفاوتی باشد.

۶- نتیجه‌گیری

۱- بار آتش از پارامترهای مهم طراحی ایمن ساختمان است که در موضوعیت پدافند غیر عامل بدان پرداخته می‌شود. از آنجایی که در آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران هنوز به این مهم به جد پرداخته نشده‌است این تحقیق می‌تواند آغازگر جستارهای بعدی باشد.

۲- کاربری فضا تأثیر به سزایی در بار آتش موجود دارد. طبق نتایج این تحقیق، میانگین بار آتش برای هال و پذیرایی، اتاق خواب، اتاق مهمان/کار، آشپزخانه، حمام و دستشویی و انبار به ترتیب ۳۲۷/۳، ۹۵۶/۷، ۶۷۴/۵،

[2] Financial Coefficient
[3] GenderCoefficient
[4] AreaCoefficient
[5] Coefficient of Determination

۶۶۶/۳۵، ۲۰۰/۶ و ۸۰۷/۷ در واحد مگاژول بر متر مربع می‌باشد.

۳- بار آتش در منازل مسکونی تابع پارامترهای مختلفی است که برجسته‌ترین آنها وضعیت مالی، جنسیت کاربران منزل و مساحت منزل می‌باشد. فرمول (۴) که در این تحقیق برای بار آتش ارائه شده‌است می‌تواند تقریب مناسبی برای برآورد بار آتش در منازل مسکونی ایران باشد.

۴-میانگین بار آتش برای کل منازل مسکونی مورد بررسی ۵۴۱/۸ مگاژول بر متر مربع (۱۲۹ مگاکالری بر متر مربع) بدست آمده‌است که به طور مقایسه‌ای از مقدار پیشنهادی آیین‌نامه اروپا کمتر و از کشورهای دیگری چون هند، آمریکا، کانادا و فنلاند بیشتر می‌باشد.

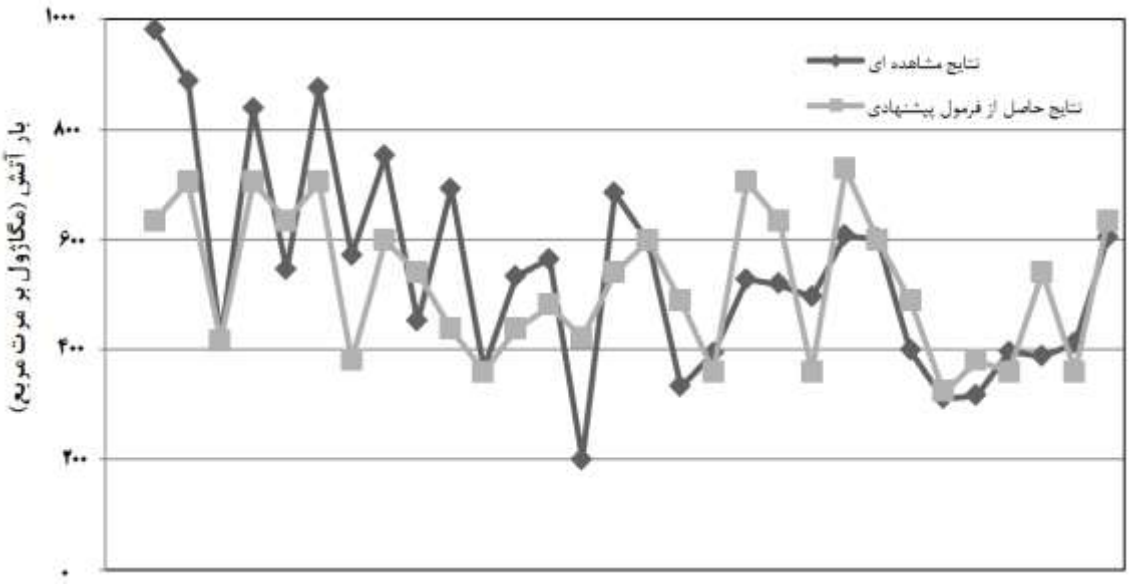
۵- بار آتش ۸۰٪ نمونه‌های مورد بررسی برای کل واحد مسکونی کمتر از ۶۸۰ مگاژول بر متر مربع (۱۶۲ مگاکالری بر متر مربع) می‌باشد.

جدول ۱۳: ضرایب بکار رفته در فرمول برآورد تقریبی بار آتش واحدهای مسکونی

ضریب وضعیت مالی (FC)		ضریب جنسیتی (GC)		ضریب مساحت (AC)	
ضعیف	۰/۶	کاربر تک جنسیتی	۰/۸۵	کمتر از ۱۲۰ متر مربع	۱/۳
متوسط	۱	مردان و زنان	۱	بین ۱۲۰ تا ۲۰۰ متر مربع	۱
خوب	۰/۸	مردان، زنان و کودکان	۱/۱	بیش از ۲۰۰ متر مربع	۱/۱
عالی	۰/۷				

جدول ۱۴: مقدار میانگین بار آتش (MJ/m^2) بر اساس تحقیقات انجام گرفته در سایر کشورها

مورد	کل محل سکونت	مبلمان منزل	هال و پذیرایی	اتاق خواب	آشپزخانه
هولم و اوکسانن (فنلاند، ۱۹۷۰)	۳۹۱	۲۴۷	۳۵۴	۵۰۵	۵۱۱
آیین‌نامه ایمنی فنلاند (۲۰۱۰)	۵۰۹	۲۳۱	۴۶۰	۶۵۶	۶۶۵
آیین‌نامه اروپا (EuroCode1)	۷۸۰	-	-	-	-
آمریکا (۱۹۷۰)	۳۲۰	-	۳۵۰	۳۹۰	۲۹۰
کانادا (۲۰۰۴)	۴۴۵	-	-	-	-
هند (۱۹۹۵)	۳۹۵	-	-	۴۹۶	۶۷۳



شکل ۱۶: نمودار مقایسه نتایج مشاهده‌ای و حاصل از رابطه (۲) برای بار آتش (MJ/m^2) در منازل مسکونی

۷- تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانیم تا از زحمات جناب آقای نوید مرشد، دانش آموخته‌ی رشته‌ی آمار دانشگاه صنعتی اصفهان که بر روند محاسبات این تحقیق نظارت داشتند تشکر کنیم. به علاوه از زحمات آقای منوچهر عطایی و سرکار خانم آرمیتا شریف‌پور شیرازی نیز که در فرایند تکمیل برداشت داده‌ها ما را یاری نمودند تقدیر می‌گردد. بدون شک بایستی صمیمانه از خانواده‌های ارشدی، اکبرزاده، ابراهیمی، آذری، بهمنی، دهقان، روزگار، زارع، شریف‌پور شیرازی، صابری، صادقی، عطایی، عطایی کچویی، غلامعلی‌زاده، کنعانی، محمودی، مختاری، مدرسی، مشکسار، موسوی و هاشمیان که درهای خانه‌های پر مهرشان را بر ما گشودند تشکر و قدردانی نمود.

مراجع

[۱] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ؛ *مبحث سوم: حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق*، نشر توسعه ایران، تهران، **۱۳۹۲**.

[2] Kumar; Sunil; Rao; "*Fire Load in Residential Buildings*", Building and Environment, vol. 30, **1995**.

[۳] مستوفی نژاد، داود؛ *بارگذاری سازه‌ها*، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، **۱۳۷۹**.

[4] Basting, D.; *Fire Safety in Atrium Buildings,* Building Research Association of New Zealand, **1988**

[5] Allan, H.; *Three Case Studies of Innovative Solutions to Fire Safety Engineering Peroblems,* 2nd AOSFT, **1995**

[6] NRC; ICC; DBH; ABCB; United States of America Department of building and Housing; *International Fire Engineering Guideline,* ABCB of the Australian Government, **2005**

[7] Online Material Information Resource, Http://www.matweb.com, **2014**

[۸] اسدی، مجید؛ بزرگ‌نیا، ابوالقاسم؛ *مقدمه‌ای بر آمار و احتمال*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، **۱۳۷۹**.

[9] Hietaniemi, J.; Mikkola, E.; *Design for Fire Safety Engineering,* VTT Research of Finland, **2010**