

تأثیر شرایط اجرایی بر عملکرد دودکش متصل به دستگاههای گازسوز خانگی مجهز به مشعل اتمسفریک

محمد ناهید تیتکانلو، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد؛ nahidtitkanlu@gmail.com

سید رضا صالح، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد؛ s_r_saleh@yahoo.com

چکیده

در این مقاله رفتار دودکشهای ساختمانی متصل به وسایل گاز سوز مجهز به مشعلهای اتمسفریک از طریق مدلسازی عددی مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر عوامل مهم اجرایی ارتفاع دودکش، جنس دودکش از نظر نوع سطح داخلی و نوع جانمایی دودکش در اجزای ساختمان بر روی کارکرد آن مورد مطالعه قرار گرفته است. پارامترهای مورد بررسی دودکش شامل مکش ایجاد شده، سرعت و دمای گازها در دهانه خروجی دودکش می باشد. بدین منظور رفتار دودکش متصل به بخاری گاز سوز خانگی در طولهای مختلف، جنسهای مختلف و اجزای متداول ساختمانی مورد بررسی قرار گرفته است. برای اطمینان از صحت نتایج با اندازه گیری دمای نقاط مختلف هندسه توسط دماسنج لیزری نتایج آن با حل عددی مقایسه شده است. در انتها مشخص گردیده که طول دودکش در بازه ارتفاعی مجاز آن تا ۱۳۰، نوع سطح داخلی تا ۵۰ و نوع جانمایی دودکش تا ۷۰ درصد مکش دودکش را تحت تأثیر قرار می دهد. تأثیر همزمان عوامل اجرایی مورد بررسی تا میزان ۷۵ درصد از مکش ایجاد شده و تا ۳۵ درصد از سرعت گاز در خروجی دودکش می کاهش دهد. همچنین تأثیر همزمان عوامل فوق در ارتفاعهای بالاتر دودکش منجر به کاهش شدید دمای محصولات احتراق شده و منجر به تشکیل شبنم می شود.

کلمات کلیدی: دودکش ساختمانی، مکش طبیعی، شبیه سازی عددی

مقدمه

با توجه به گستردگی شبکه گاز خانگی و رواج فرهنگ استفاده از وسایل گرمایش موضعی به جای گرمایش مرکزی، استفاده از دستگاههای گاز سوز خانگی با مشعلهای اتمسفریک فراگیر شده است. با شناخت بهتر رفتار دودکشهای متصل به این دستگاهها و صدور توصیه های ساده ایمنی می توان از گاز گرفتگی و صدمات جانی ناشی از آن پیشگیری کرد. پدیده آمدن فرایند احتراق به فضای زیستی یکی از پر مخاطره ترین بحثهای تاسیساتی را بوجود آورده است. بنابراین طراحی مجرای ایمن انتقال محصولات احتراق به فضای بیرون از اهمیت بالایی برخوردار شده است. دودکش های متصل به مشعلهای اتمسفریک در سیستمهای گرمایش موضعی خانگی کار انتقال محصولات احتراقی به فضای بیرون را بر عهده دارند.

مهمترین عوامل موثر بر عملکرد دودکش اتمسفریک عبارتند از طول دودکش، جنس دودکش از نظر نوع سطح داخلی آن و میزان انتقال حرارت پوسته دودکش با فضای بیرون. رفتار دودکش اتمسفریک کاملاً وابسته به دستگاه متصل به آن و شرایط محیط کار آن می باشد. بدین منظور از یک بخاری گازی متصل به دودکش مورد مطالعه جهت راه اندازی جریان استفاده شده که ظرفیت آن ۸۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت در نظر گرفته شده

است. علت انتخاب از این ظرفیت متداول بودن استفاده از آن است. مهمترین پارامتر دودکش که باید مورد پایش و بررسی قرار گیرد مکش ایجاد شده در دو انتهای دودکش به عنوان محرک جریان و سرعت و دمای محصولات احتراق در خروجی دودکش. سرعت بالاتر در خروجی موجب غلبه بر عوامل نا مطلوب خارجی مانند باد و دمای بالاتر در خروجی برای جلوگیری از تشکیل شبنم دارای اهمیت می باشد.

در سال ۱۹۸۳ اسپارو و هالاند^۱، حل عددی یک دودکش با دیوار عایق شده و جریانی که توسط منبع حرارتی به آن وارد می شد را انجام دادند [۱]. در سال ۱۹۹۶ دیاس دلگادو^۲ و همکارانش، روش آنالیز و پیش بینی نرخ تهویه، دما و فشار داخلی دودکش که تحت تأثیر شناوری گرمایی و جریان باد قرار داشت را بررسی کردند. آنها کارایی دودکش ساختمانی را با حل عددی و اعمال معادلات انرژی و مومنتوم به عنوان تهویه طبیعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها به رابطه مهم متغیرهای حرارتی و مومنتوم و نقش اساسی دودکش در فرآیند تهویه ختم گردید [۲]. در سال ۱۹۹۸ کورتز^۳ و همکارانش، محاسبات عددی و آزمایشگاهی دمای گازهای خروجی حاصل از احتراق و خروجی از دودکش را انجام دادند [۳]. در سال ۲۰۰۲ اورونزیو مانگا^۴ و همکارانش، تحقیقات آزمایشگاهی روی جریان درون یک کانال دودکش را انجام دادند. آنها انتقال حرارت جابجایی درون یک کانال دودکش با تغییر سطح مقطع را مورد بررسی قرار دادند [۴]. اسکار فاریاس^۵ و همکارانش، در سال ۲۰۰۷ به بررسی تئوری و آزمایشگاهی مکش در یک دودکش مشترک ساختمانی با سوخت گاز پرداختند. آنها یک کانال مشترک که دودکش ها در طبقات مختلف به آن وصل می شدند را بررسی کرده و تأثیر ظرفیت بخاری، ارتفاع دودکش، ارتفاع از سطح دریا را بر مکش دودکش مطالعه کردند [۵]. ویو شانگ^۶ و همکارانش جابجایی طبیعی در سه دودکش مخروطی را بصورت حل عددی و بدون تقریب بوزینسک مورد مطالعه قرار دادند [۶].

در این تحقیق با استفاده از تجارب و نتایج مطالعات گذشته به بومی سازی مطالعه دودکشها مطابق با استانداردها، نوع مصالح مورد استفاده و مهمترین اجزای رایج ساختمانیهای امروزه ایران پرداخته شده است.

روش انجام تحقیق

¹ Hauland

² Dias Delgado

³ C. Cortes

⁴ Oronzio Manca

⁵ Oscar Farias

⁶ Wu-Shung Fu

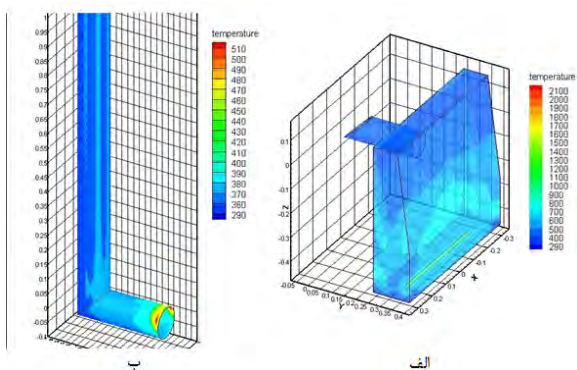
معادلات حاکم با استفاده از نرم افزار فلوئنت و از طریق روش عددی حجم محدود و حل کننده تفکیکی حل شده اند. برای همبستگی معادلات بقای تکانه و جرم از روش سیمپل^۴ استفاده شده و پس از بررسی حل های مختلف معیار همگرایی^۵ 1×10^{-6} برای تابش و انرژی و 1×10^{-4} برای سایر معادلات استفاده شده است. برای کنترل مقادیر محاسبه، از فاکتورهای زیر تخفیف^۵ بصورت جدول ۱ استفاده شده و برای شبیه سازی چگالی مدل گاز ایده آل به کار گرفته شده است.

جدول ۱: فاکتورهای زیر تخفیف

Pressure	momentum	energy	Discrete ordinations
0.3	0.4	0.9	0.95

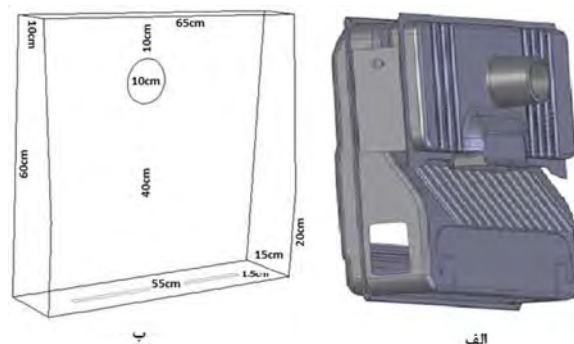
چون همه معادلات بصورت همزمان حل شده اند برای بررسی استقلال جوابها از مش بندی سه پارامتر مکش (اختلاف فشار دو سر دودکش)، دمای گازهای خروجی دودکش و سرعت گازها در خروجی دودکش مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به همگرایی کندتر دما، تعداد مشها برای دودکش ۳ متری پس از ثابت شدن دمای خروجی دودکش، برابر ۱۰۰۰۰۰ گره انتخاب شد.

پس از حل عددی کوره متصل به دودکش با ارتفاع ۳ متر، سطح داخلی کاملاً صاف، عایق حرارتی و در سطح دریا، تحت شرایط مرزی فرض شده، کانتور دمای کوره و دودکش به صورت شکل ۲ بدست آمده است. کانتور فشار مجموعه کوره و دودکش نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. برای اطمینان از صحت جوابهای بدست آمده دمای سه نقطه مختلف مجموعه کوره و دودکش ۳ متری با ابعاد مشابه در شرایط آزمایشگاهی، توسط دماسنج لیزری مطابق شکل ۴ اندازه گیری شده و مطابق جدول ۲ با حل عددی مقایسه شده است.



شکل ۲: الف) کانتور دمای کوره بخاری متصل به دودکش ۳ متری، ب) کانتور دمای یک متر اول دودکش ۳ متری با سطح داخلی صاف و در سطح دریا

از آنجایی که هدف از این تحقیق بدست آوردن پارامترهای دودکش در اجزای مختلف آن است، از جزئیات هندسی کوره بخاری متصل به دودکش صرف نظر شده و مطابق شکل ۱ از هندسه ساده شده کوره با ابعادی نزدیک به ابعاد کوره واقعی استفاده شده است. دمای اتاق ۲۲ و دمای محیط بیرون صفر درجه سانتیگراد فرض شده است. ضریب انتقال حرارت با محیط برای سطوح عمودی کوره ۹ و برای سطح افقی آن ۱۱ وات بر مترمربع درجه کلوین در نظر گرفته شده است [۷]. با توجه به دمای نسبتاً زیاد کوره انتقال حرارت تشعشعی کوره با محیط در محاسبات لحاظ شده و شرط عدم لغزش بر روی تمام دیواره ها مورد استفاده قرار گردیده است. در محل ورودی هوای تازه به بخاری شرط مرزی فشار ورودی^۱ و در محل خروجی دودکش شرط مرزی فشار خروجی^۲ به کار گرفته شده است. چون بخاری به عنوان راه انداز دودکش عمل می کند نیاز به پرداختن به جزئیات فرایندهای احتراقی انجام گرفته در آن نیست، و شعله بخاری به صورت شرط مرزی با شار گرمایی ثابت در ابعادی برابر سطح واقعی شعله مدل سازی شده است.



شکل ۱: الف) کوره واقعی بخاری، ب) مدل ساده شده مورد مطالعه

در طراحی هندسه دودکش سعی شده مدل مورد مطالعه با شرایط واقعی اجرایی و استانداردهای مربوطه در ساختمانها حداکثر هماهنگی را داشته باشد. بدین منظور قطر داخلی ۱۰ سانتیمتر برای دودکش انتخاب شده است [۸]. در معماری ساختمانها برای دسترسی به مسیر عمودی دودکش از یک خم ۹۰ درجه استفاده می شود. در این مطالعه نیز برای اتصال مستقیم بخاری به دریچه ورودی دودکش توسط یک لوله رابط ۲۵ سانتیمتری از یک خم ۹۰ درجه استفاده گردیده است.

معادلات حاکم و حل عددی آنها

معادلات حاکم بر مساله شامل معادلات بقای جرم، تکانه^۳ و انرژی به ترتیب معادلات ۱ تا ۳ می باشند [۹]. این معادلات در مختصات سه بعدی مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\bar{\nabla} \cdot (\bar{V}) = 0 \quad (۱)$$

$$\bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{V} \bar{V}) = -\bar{\nabla} P + \bar{\nabla} \cdot (\mu \bar{\nabla} V) \quad (۲)$$

$$\bar{\nabla} \cdot \left(\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \bar{V} \right) = -\bar{\nabla} \cdot (k \bar{\nabla} T) + q_r \quad (۳)$$

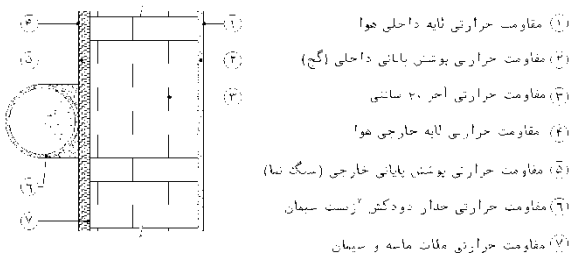
1 Pressure Inlet
2 Pressure Outlet
3 Momentum

4 SIMPLE

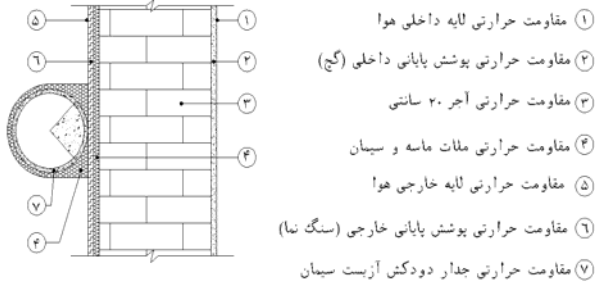
5 Under Relaxation



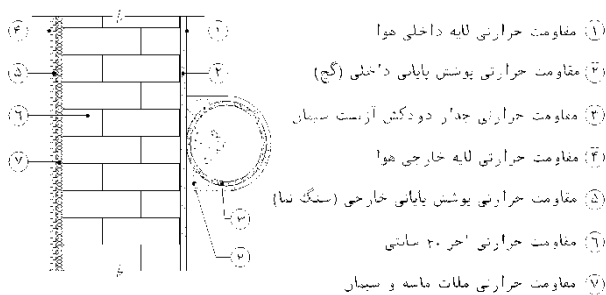
شکل ۵: انواع اجرای مختلف مورد مطالعه برای دودکش در ساختمان



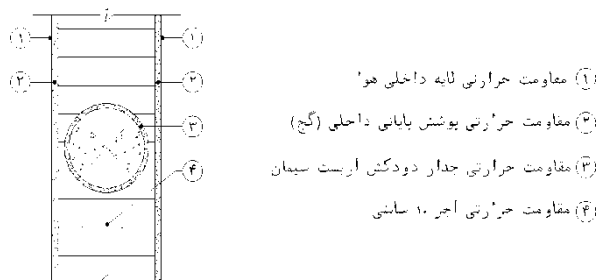
شکل ۶: جزئیات اجرایی دودکش نوع ۱



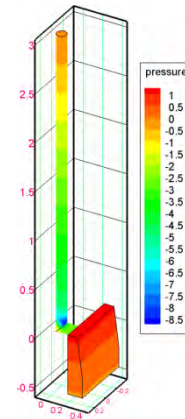
شکل ۷: جزئیات اجرایی دودکش نوع ۲



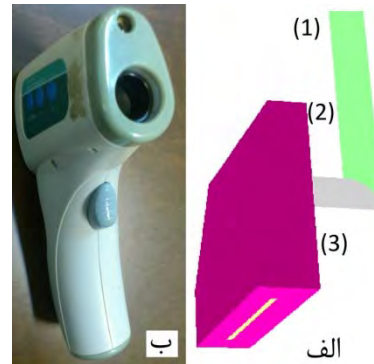
شکل ۸: جزئیات اجرایی دودکش نوع ۳



شکل ۹: جزئیات اجرایی دودکش نوع ۴



شکل ۳: کانتور فشار کوره و دودکش ۳ متری با سطح داخلی صاف و در سطح دریا



شکل ۴: الف) موقعیت نقاط اندازه گیری شده، ب) دماسنج لیزری مورد استفاده

جدول ۲: مقایسه نتایج حل عددی و مقادیر اندازه گیری شده

نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	حل عددی
88°C	173°C	255°C	دماسنج لیزری
84°C	161°C	231°C	درصد اختلاف
5	7	11	

نقطه ۱: دمای یک متر اول دودکش

نقطه ۲: دمای بالاترین قسمت دیواره کوره

نقطه ۳: دمای کوره ۱۵ سانتی متر بالاتر از سطح شعله

انواع اجرای دودکش در ساختمان

بسته به محل قرارگیری دودکش در اجزای ساختمان میزان انتقال حرارت دودکش با محیط بیرون متفاوت است. در این تحقیق مطابق شکل ۵ به بررسی ۵ نوع از رایجترین اجراهای دودکش در ساختمانهای امروزی پرداخته شده است. جزئیات اجرایی این دودکشیها در شکل‌های ۶ تا ۱۰ نشان داده شده است.

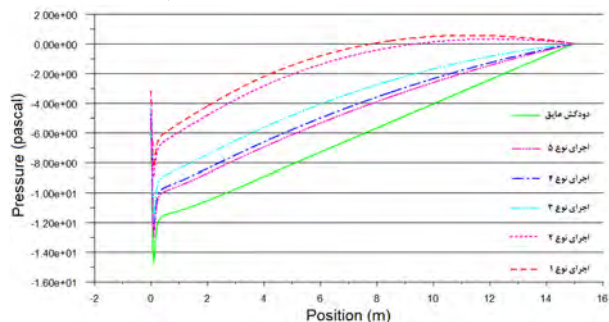


شکل ۱۱: زبریه‌های مختلف سطح داخلی دودکش بتنی

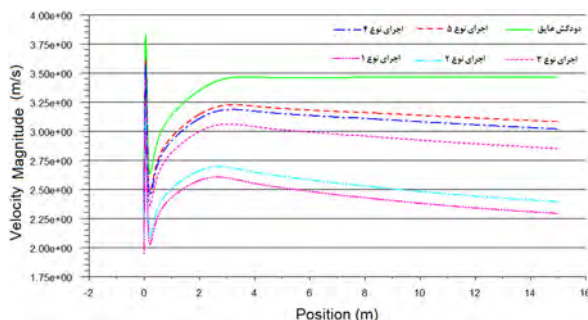
نتایج

مساله با اعمال شرایط مرزی جدول ۳ و در محدوده طولهای مجاز ارتفاعی دودکش حل شده است. محدوده مجاز ارتفاعی طبق مبحت هفدهم مقررات ملی ساختمان برای دودکشهای اتمسفریک ۳ تا ۱۵ متر است [۷]. در نمودارهای رسم شده منظور از خط مرکزی دودکش، خطی است که از محل تلاقی خطوط مرکزی مسیرهای افقی و عمودی دودکش شروع شده تا مرکز دهانه خروجی دودکش امتداد می یابد.

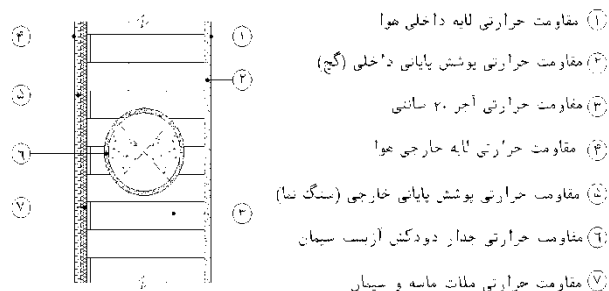
توزیع فشار، سرعت و دما در خط مرکزی دودکش ۱۵ متری در اجراهای مختلف به ترتیب مطابق نمودار شکلهای ۱۲، ۱۳، ۱۴ می باشد. مطابق شکل ۱۲ قسمتهایی از انتهای دودکشهای نوع ۱ و ۲ در ایجاد مکش مشارکت ندارد. با توجه به اینکه دودکش از نوع ۱ بیشترین کاهش مکش را دارد، به بررسی دقیقتر این دودکش می پردازیم. توزیع فشار، سرعت و دمای گاز روی خط مرکزی دودکش نوع ۱ در طولهای مختلف به ترتیب در نمودار شکلهای ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. در نمودار شکل ۱۸ افزایش مکش با افزایش طول دودکش در اجراهای مختلف با هم مقایسه شده است.



شکل ۱۲: فشار خط مرکزی دودکش ۱۵ متری در اجراهای مختلف



شکل ۱۳: سرعت در خط مرکزی دودکش ۱۵ متری در اجراهای مختلف



شکل ۱۰: جزئیات اجرایی دودکش نوع ۵

ضریب انتقال حرارت جدار مرکب با استفاده از معادلات ۴ و ۵ و با داده های پیوست مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان محاسبه شده که در جدول ۳ مشاهده می شود [۷]. ضریب انتقال حرارت متوسط و دمای متوسط جریان آزاد با توجه به نسبت انتقال حرارت دودکش با فضای داخل و بیرون محاسبه شده است.

$$R_{wall} = R_1 + R_2 + \dots + R_i + \dots + R_n \left[\frac{m^2K}{w} \right] \quad (4)$$

$$R_{wall} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_i/\lambda_i + \dots + d_n/\lambda_n$$

$$U = \frac{1}{R} \left[\frac{w}{m^2K} \right] \quad (5)$$

جدول ۳: ضریب متوسط انتقال حرارت دیوار و دمای متوسط جریان آزاد در اجراهای مختلف

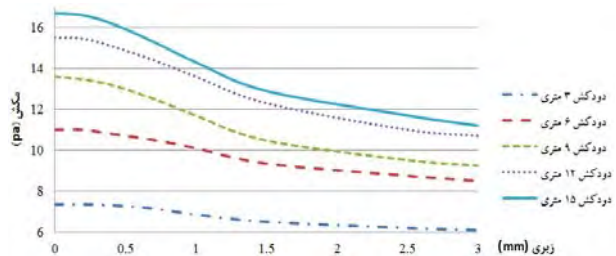
نوع اجرا	ضریب انتقال حرارت متوسط $\left[\frac{w}{m^2K} \right]$	دمای متوسط جریان آزاد $T_{\infty} [K]$
نوع ۱	۱۱,۳۹	۲۷۸,۵
نوع ۲	۹,۳۰	۲۷۸,۵
نوع ۳	۴,۸۲	۲۸۹,۵
نوع ۴	۲,۸۴	۲۹۵
نوع ۵	۱,۳۲	۲۸۴

دودکشهای مورد استفاده در ساختمان از نظر نوع سطح داخلی

دودکش های مورد استفاده در صنعت ساختمان از مواد مختلفی ساخته شده اند. دودکشهای فلزی دارای سطح صافی اند در مقابل دودکشهای آریست سیمان و بتنی دارای زبری قابل ملاحظه ای هستند. زبری سطوح حتی تا چندین میلیمتر هم می رسد. با توجه به اینکه در مکانیک سیالات وقتی صحبت از لایه مرزی، یا زیر لایه آرام می شود از مقیاس چند میلیمتر صحبت می شود، زبری ۳ یا ۴ میلیمتر سطح تاثیر قابل ملاحظه ای را روی جریان سیال خواهد داشت. بر اساس مواد بکار رفته در دودکشها، با زبری هایی از ۰ تا ۳ میلیمتر سرو کار داریم [۹]. شکل ۱۱ چند تصویر از زبریه‌های قابل توجه سطح داخلی دودکشهای مورد استفاده در ساختمانهای امروزی را نشان می دهد.

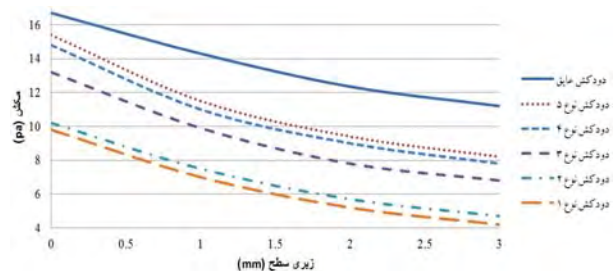
شکل ۱۸: مکش در دودکش با طولهای مختلف و اجراهای مختلف

با اعمال زبریهای مختلف سطح در بازه ارتفاعی مجاز دودکش، مساله دوباره حل شده است. نتایج حل نشان می دهد با افزایش ارتفاع دودکش، مکش بر اثر زبریهای مختلف سطح برای دودکش عایق حرارتی مطابق نمودار شکل ۱۹ کاهش می یابد.



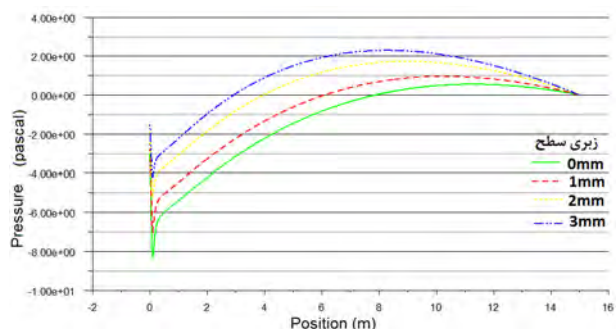
شکل ۱۹: تاثیر زبریهای مختلف سطح بر مکش دودکش عایق حرارتی با طولهای متفاوت

تاثیر زبری سطح روی مکش ایجاد شده توسط دودکش ۱۵ متری در ۵ نوع اجرای مورد مطالعه مطابق نمودار شکل ۲۰ می باشد.

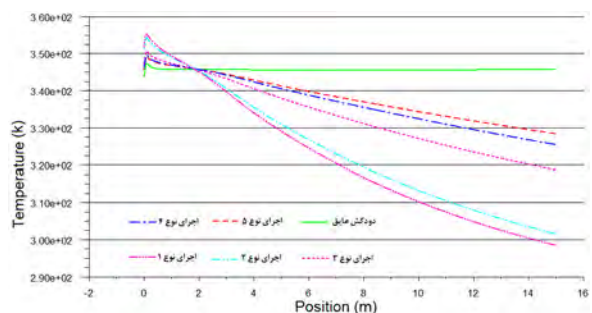


شکل ۲۰: تاثیر همزمان زبری سطح و نوع اجرا بر مکش دودکش ۱۵ متری

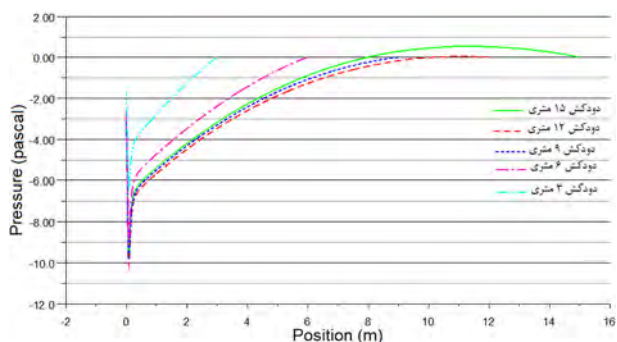
با بررسی دقیقتر اجرای نوع ۱ و تاثیر زبریهای مختلف سطح، توزیع فشار، دما و چگالی محصولات احتراق روی خط مرکزی دودکش نوع ۱ مطابق شکلهای ۲۱ تا ۲۳ بدست می آید.



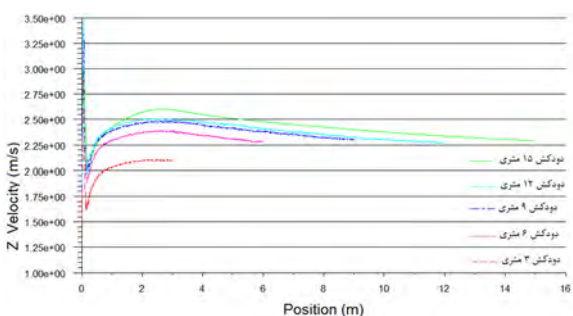
شکل ۲۱: تغییرات فشار خط مرکزی دودکش ۱۵ متری نوع ۱ از زبری سطح



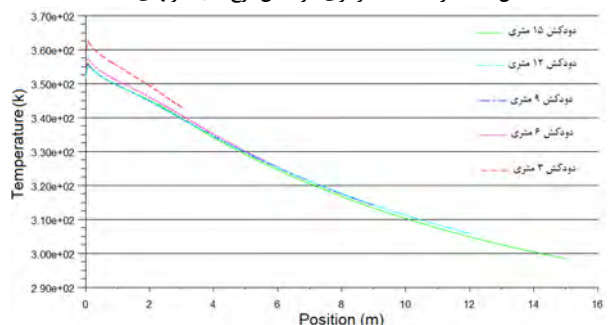
شکل ۱۴: دمای خط مرکزی دودکش ۱۵ متری در اجراهای مختلف



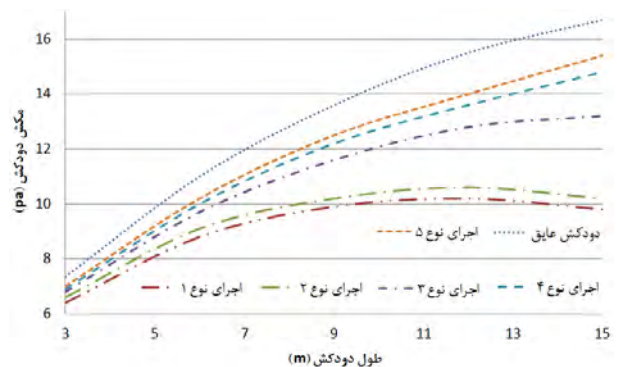
شکل ۱۵: فشار خط مرکزی دودکش نوع ۱ با طولهای مختلف



شکل ۱۶: سرعت خط مرکزی دودکش نوع ۱ با طولهای مختلف



شکل ۱۷: دمای خط مرکزی دودکش نوع ۱ با طولهای مختلف



با نگاهی دقیقتر به نتایج تحقیق مشاهده می شود که مکش ایجاد شده در دودکش، اختلاف فشار ناچیزی بین دو سر دودکش بوجود می آورد که در بهترین حالت با یک مانع کمتر از ۱۵ گرم از بین خواهد رفت. بنابراین در عمل با اعمال تاثیر همه عوامل دیگر موثر بر دودکش به همراه عوامل مهم خارجی تاثیر گذار بر دودکش به شرایط پر مخاطره مواجه خواهیم شد. از جمله راههایی که برای گریز از شرایط خطرناک استفاده از وسایل گرمایشی گاز سوز موضعی مورد استفاده در ساختمانهای مسکونی امروزی پیشنهاد می شود، فرهنگ سازی برای استفاده از سیستم گرمایش مرکزی و نظارت بیشتر و دقیقتر بر مراحل طراحی و ساخت دودکش می باشد.

فهرست علائم

A	مساحت (m ²)
d	ضخامت لایه (m)
e	انرژی داخلی بر واحد جرم (J/Kg)
P	فشار (Pa)
q _r	گرمای منتقل شده از طریق تشعشع (W)
R	مقاومت حرارتی $\frac{m^2K}{w}$
T _∞	دمای جریان سیال آزاد (K)
U	ضریب انتقال حرارت $\left(\frac{w}{m^2K}\right)$
\bar{V}	بردار سرعت $\left(\frac{m}{s}\right)$
λ	ضریب هدایت حرارتی $\left[\frac{w}{mK}\right]$
μ	ضریب گرانروی $\left(\frac{kg}{m.s}\right)$
ρ	چگالی $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

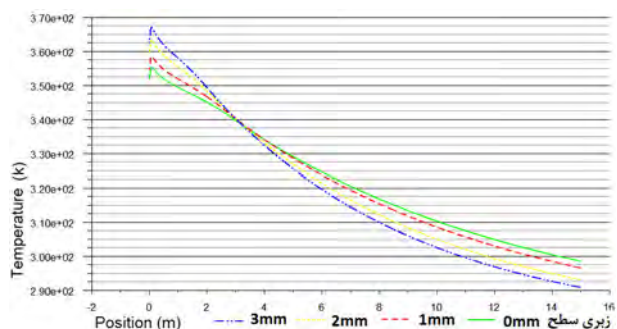
مراجع

- [1] S.E. Hauland, E.M. Sparrow, "solution for the channel plume and the Parallel walled chimmney", *Numerical Heat Transfer* 6, 1983, 155-172.
- [2] J.F.A. Dias Delgado, A.R. Janeiro Borges, J.M. Paixao Conde, "Wind action and temperature difference effects on the ventilation rate of a two-storey building communicating with the outside environment by a chimney", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 65, 1996, Pages 371-381.
- [3] C. Cortes, A. Campo, "Rapid computation of the exit temperature of hot combustion gases owing inside chimneys", *Applied Thermal Engineering* 19, 1998, 969±990.
- [4] Oronzio Manca, Marilena Musto, Vincenzo Naso, "Experimental analysis of asymmetrical isoflux channel-chimney systems", *International Journal of Thermal Sciences* 42, 2002, 837-846.
- [5] Oscar Farias, Françoise Jara, Robinson Betancourt, "Theoretical and experimental study of the natural draft in chimney of buildings for domestic gas appliances", *Energy and Buildings* 40, 2008, 756-762.
- [6] W. S. Fu, Y. Huang, W. H. Wang, "An investigation of natural convection in a three dimensional tapered chimney without Boussinesq assumption", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 2012, 509-513.

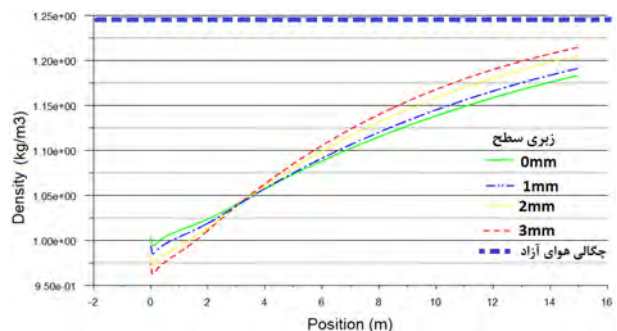
[7] دفتر مقررات ملی ساختمان، "مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹"، نشر توسعه

ایران، چاپ اول، ۱۳۸۱

اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی



شکل ۲۲: تغییرات دمای خط مرکزی دودکش ۱۵ متری نوع ۱ با زبری سطح

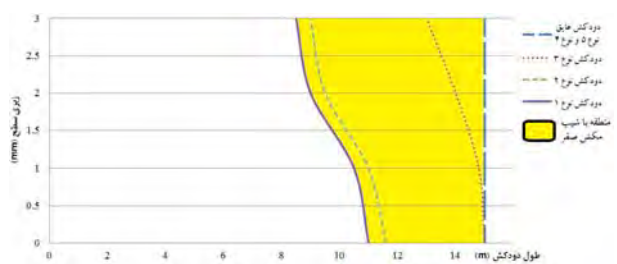


شکل ۲۳: تغییرات چگالی خط مرکزی دودکش ۱۵ متری نوع ۱ با زبری سطح

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی تاثیر ۵ نوع از رایجترین اجزای دودکش در ساختمانها و مقایسه آنها با دودکش عایق پرداخته شد. سپس تاثیر زبری سطح در محدوده ۰ تا ۳ میلیمتر (محدوده مصالح مورد استفاده) مورد مطالعه قرار گرفت. با حل شرایط فوق برای هندسه دودکش در محدوده مجاز ارتفاعی ۳ تا ۱۵ متر نشان داده شد که بدترین اجرای دودکش (نوع ۱) با سطح داخلی صاف، میتواند در دودکش ۱۵ متری تا ۷۰ درصد از قدرت مکش آن بکاهد. زبری سطح داخلی دودکش نیز می تواند تا ۵۰ درصد از مکش دودکش کم کند.

در اجزای نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ قسمتهایی از انتهای دودکش در زبریهای بالاتر در ایجاد مکش مشارکت نمی کند. این به دلیل نزدیکتر شدن چگالی محصولات احتراق به چگالی هوای بیرون است. در اجزای نوع ۴ و ۵ در بازه ارتفاعی مورد مطالعه، در تمامی زبریهای سطح، شیب افزایش مکش مثبت و تمام طول دودکش در ایجاد مکش مشارکت دارد. با تعیین نقاطی از مسیر عمودی دودکش که در اثر تاثیر عوامل فوق، شیب فشار صفر شده و از آن نقطه به بعد در ایجاد مکش مشارکت ندارد، نمودار شکل ۲۴ بدست می آید. با در نظر گرفتن نمودار فوق در غیاب تاثیر عوامل خارجی بهتر است که در طراحی دودکشاها از قرار گرفتن در محدوده مشخص شده نمودار شکل ۲۴ اجتناب شود.



شکل ۲۴: قسمتهایی از طول دودکش که در ایجاد مکش مشارکت ندارد.

- [۸] دفتر مقررات ملی ساختمان، "مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۷"، نشر توسعه ایران، چاپ دوم، ۱۳۹۱
- [9] R. W. Fox, D. A. Alan, T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanics-Forth edition", John Weley & sons, inc1994.