نشریه مباحث برگزیده در انرژی، دوره ۴، شماره ۲، سال ۱۴۰۲، صفحات ۵۹ تا ۶۹

مقاله پژوهشی

بررسی اثر کلاهک H و ابعاد آن بر عملکرد دودکش

کریم طباطبایی[۱]، هاجر مقدس[۱*]

۱- گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

* نویسنده مسئول: h.moghadas@yu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۳ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۹

چکیده

یکی از کلاهک‌های پرکاربرد در دودکش وسایل گرمایشی و صنعتی کلاهک H است. علی‌رغم کاربرد گسترده آن، متأسفانه تاکنون استاندارد مشخصی برای تعیین ابعاد بهینه این نوع کلاهک ارائه نشده است. در این پژوهش، تأثیر کلاهک H و ابعاد آن بر عملکرد دودکشی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳ متر بررسی شده است. برای ایجاد جریان جابجایی آزاد هوای داغ، از یک منبع حرارتی با دمای ۱۸۰۰ کلوین در قسمت پایین دودکش استفاده شد. در این حالت عامل حرکت نیروی شناوری است که به‌علت دمای بالای هوای اطراف منبع حرارتی و مکش دودکشی، جریان آشفته‌ایی به سمت بالا ایجاد می‌کند. این جریان آشفته توسط مدل استاندارد k-ε مدل‌سازی شد. شبیه‌سازی‌ها برای دودکش بدون کلاهک و همچنین دودکش‌هایی مجهز به کلاهک با ابعاد مختلف قطر و یال (در محدوده ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر) انجام شد. مقدار سرعت متوسط و فشار کل در ورودی دودکش‌ها ارزیابی گردید. نتایج نشان می‌دهد که افزودن کلاهکی با قطر و یال ۲۰ سانتی‌متر به دودکش، سرعت را ٪۲/۶ کاهش می‌دهد. کاهش سرعت ناشی از اتلاف انرژی جریان است که بواسطه حضور کلاهک در مسیر جریان ایجاد می‌شود. استفاده از کلاهکی با قطر ۱۵ و یال ۲۰ سانتی‌متر منجر به کاهش شدید ٪۲۶ سرعت می‌شود. این درحالی است که کلاهکی به قطر ۲۵ و یال ۲۰ سانتی‌متر، سرعت را ٪۷ افزایش می‌دهد. بیشترین سرعت برای کلاهکی به قطر و یال ۲۵ سانتی‌متر و کمترین سرعت برای کلاهکی به قطر ۱۵ و یال ۲۰ سانتی‌متر بدست آمد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در میان ابعاد مختلف، قطر کلاهک تأثیر غالب‌تری بر مقدار مکش دودکش دارد. بعلاوه عملکرد بهینه کلاهک زمانی حاصل می‌شود که قطر و یال آن باهم برابر باشد. این یافته‌ها برای طراحی بهینه، بهبود ایمنی و بهره‌وری انرژی حائز اهمیت است.

کلید واژگان: دودکش، کلاهک H، مکش دودکش، نیروی شناوری، شبیه‌سازی عددی.

The effect of H-cap on chimney performance

Karim Tabatabaei[1], Hajar Moghadas[1*]

Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Yasouj University, Yasuj, Iran

*Corresponding author: h.moghadas@yu.ac.ir

Received: 24-06-2026 Accepted: 31-08-2026

Abstract

The H-type cap is one of the most widely used chimney caps in heating and industrial systems. Despite its extensive application, no specific standard has yet been established for determining the optimal dimensions of this type of cap. In the present study, the effect of the H-cap and its geometric dimensions on the performance of a chimney with a diameter of 20 cm and a height of 3 m is investigated. To generate a buoyancy-driven flow of hot air, a heat source with a constant temperature of 1800 K was placed at the bottom section of the chimney. The flow is driven solely by buoyancy forces resulting from the elevated temperature of the air surrounding the heat source, which, together with the chimney draft, induces a turbulent upward flow. This turbulent flow is modeled using the standard k-ε turbulence model. Simulations were carried out for the chimney without a cap, as well as for chimneys equipped with H-caps having various diameters and brim lengths (ranging from 15 to 25 cm). The average velocity and total pressure at the chimney inlet were evaluated for all cases. The results indicate that adding an H-cap with a diameter and brim of 20 cm reduces the average velocity by approximately 2.6%. This reduction is attributed to energy losses caused by the presence of the cap along the flow path. A cap with a diameter of 15 cm and a brim of 20 cm results in a significant reduction of 26% in velocity, whereas a cap with a diameter of 25 cm and a brim of 20 cm increases the velocity by 7%. The maximum velocity was observed for the cap with both diameter and brim equal to 25 cm, while the minimum velocity corresponded to the cap with a diameter of 15 cm and a brim of 20 cm. The findings also demonstrate that, among the various geometrical parameters, the cap diameter has a more dominant influence on chimney draft performance. Furthermore, the optimal performance is achieved when the diameter and brim of the cap are equal. These results are of considerable importance for optimal design, safety improvement, and energy efficiency enhancement.

Keywords: Chimney, H-type cap, Chimney draft, Buoyancy, Numerical simulation.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

دودکش‌ها از اجزای اساسی وسایل حرارتی هستند که نقش مهمی در ایمنی، کارایی و عملکرد پایدار آنها دارند [۱-۳]. با توجه به نقش حیاتی دودکش در تهویه دود و ایمنی ساکنین، بررسی جنبه‌های مختلف تاثیرگذار بر عملکرد بهینه دودکش بسیار حائز اهمیت است [۴-۷]. دودکش‌ها به عنوان ادوات تخلیه گازهای حاصل از احتراق، در شرایط خاص ممکن است با مشکل بازگشت دود به درون ساختمان مواجه شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که عامل ایجاد جریان برگشتی می‌تواند هندسه دودکش، فشار منفی داخلی ناشی از وسایل مکنده، اثر دودکشی ساختمان و تغییرات فصلی دما و فشار باشد [۸]. عوامل متعددی مانند هندسه دودکش، اتصال ورودی و خروجی آن و شرایط محیطی و آب و هوایی می‌توانند بر عملکرد آن اثرگذار باشند [۹-۱۱]. مطالعات عددی و آزمایشگاهی بر روی بخاری گازی دودکش‌دار نشان می‌دهد که افزودن موانع درون محفظه بخاری در مسیر جریان هوای داغ خروجی از بخاری و ورودی به دودکش، منجر به افزایش بازده گرمایی آن می‌شود [۱۲]. محققان تأثیر دمای طراحی گاز دودکش بر ایمنی آتش‌نشانی را مطالعه کردند [۱۳]. در پژوهشی دیگر، شبیه‌سازی تزریق جانبی هوای گرم به دودکش مجرای تهویه ساختمان نشان داد که اختلاف دمای هوای بیرون و داخل بر مکش دودکشی مجرای تهویه اثرگذار است [۱۴]. بررسی عددی اثر ارتفاع دودکش و فاصله آن تا دیواره جان‌پناه پشت‌بام بر عملکرد دودکش و پراکندگی گازهای خروجی در فصل سرد نشان می‌دهد که برای عملکرد بهینه رعایت استاندار فاصله از دیواره‌ها و ارتفاع حداقل دودکش از بام ضروری است [۱۵]. تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از کلاهک عموماً موجب افت مکش دودکشی در وسایل گرمایشی می‌شود. کلاهک هم‌محور در مقایسه با کلاهک هودی معمولی افت مکش کمتری ایجاد می‌کند [۱۶]. پژوهشگران اثر کلاهک چرخان زانویی‌شکل را بر بهبود کارایی دودکش، به‌صورت عددی و تجربی مطالعه کردند [۱۷]. مطالعات آزمایشگاهی در حوزه تهویه طبیعی ساختمان نشان می‌دهد که استفاده از کلاهک روشی برای بهبود اثر دودکشی تهویه هوا است [۱۸]. استفاده از نوعی کلاهک خورشیدی و کلاهک سانتریفیوژ در مقایسه با حالت بدون کلاهک، موجب بهبود اثر دودکشی در تهویه طبیعی از ساختمان مسکونی می‌شود [۱۹].

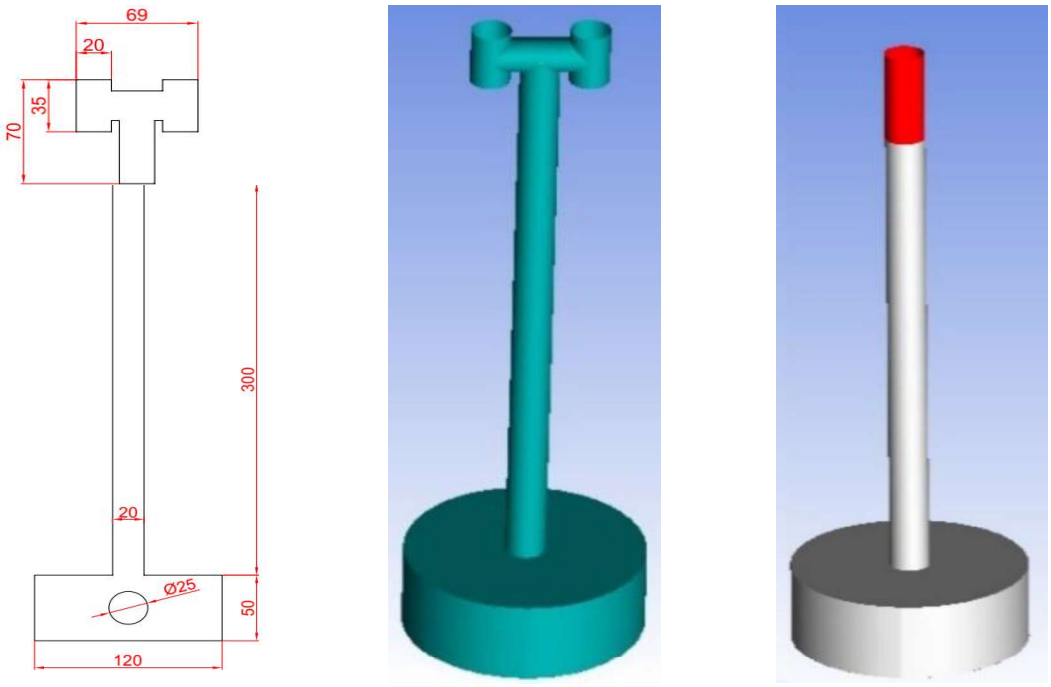
بطور کلی مطالعات پیشین اثبات می‌کند که شکل هندسی کلاهک بر عملکرد آن اثرگذار است [۲۰]. یکی از رایج‌ترین کلاهک‌های مورد استفاده در صنایع و ساختمان‌ها، کلاهک H است. اگرچه به لحاظ مهندسی به وضوح قابل پیش‌بینی است که ابعاد کلاهک بر عملکرد آن تأثیرگذار است. با این‌حال تاکنون استانداردها و مراجع ملی و بین‌المللی، توضیح شفاف و مشخصی درباره انتخاب هندسه و ابعاد بهینه این نوع کلاهک ارائه نکرده‌اند. تولید متنوع و بی‌ضابطه کلاهک H در ابعاد مختلف در بازار از جمله چالش‌های مهندسی در این حوزه است. اهمیت این موضوع تنها به عملکرد فنی دودکش محدود نیست بلکه از منظر ایمنی و بهره‌وری انرژی نیز این مساله حائز اهمیت است. آمار فزآینده مسمومیت‌ها و مرگ‌ومیرهای ناشی از نشت و بازگشت منوکسیدکربن در وسایل گازسوز موکد این ادعا است [۲۱ و ۲۲].

با وجود کاربرد گسترده کلاهک H و تأثیر مستقیم آن بر ایمنی و عملکرد دودکش، تاکنون مطالعه‌ای مدون برای ارزیابی کمی اثر ابعاد هندسی این نوع کلاهک (به‌ویژه نسبت قطر به یال) بر میدان جریان و مکش دودکش انجام نشده است. بیشتر پژوهش‌های پیشین یا به انواع دیگر کلاهک‌ها پرداخته‌اند یا تأثیر کلاهک را صرفاً به‌صورت کیفی گزارش کرده‌اند. در این پژوهش، برای نخستین بار، شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی و پارامتریک جریان آشفته تحت نیروی شناوری در دودکش مجهز به کلاهک H با ابعاد مختلف بررسی می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند مبنایی برای تدوین استانداردهای فنی برای این نوع کلاهک فراهم کند.

۲- روش کار

در این پژوهش جریان هوای داغ درون دودکشی به ارتفاع ۳ متر در حالت‌های بدون کلاهک و مجهز به کلاهک H شبیه‌سازی شد. این جریان توسط یک کره داغ به عنوان منبع حرارتی در محفظه پایین دودکش ایجاد می‌شود. هندسه سه‌بعدی دودکش بدون کلاهک و مجهز به کلاهک به همراه نمای دوبعدی دودکش و کلاهک در شکل ۱ نشان داده شده است، در بالای دودکش، ارتفاعی معادل ۶۰ سانتی‌متر به عنوان بخش آزاد خارج از ساختمان درنظر گرفته می‌شود.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]



الف) ب) ج)

شکل ۱- دامنه محاسباتی دودکش و محفظه پایین آن الف) دودکش بدون کلاهک ب) دودکش با کلاهک ج) نمای دو بعدی دودکش و کلاهک، ابعاد کلاهک بر اساس استاندارد یک کلاهک صنعتی با قطر ۲۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شده است. ابعاد به سانتی‌متر است.

۲-۱- معادلات حاکم

با توجه به ماهیت فیزیکی جریان، معادلات حاکم بر مسئله شامل معادله پیوستگی، معادلات مومنتم، معادله آشفتگی و معادله انرژی است که به شرح زیر درنظر گرفته شده‌اند:

الف) معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=0 \quad (۱)$$

ب) معادله مومنتوم:

$$\rho g_x+\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}=\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right) \quad (۲)$$

$$\rho g_y+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}=\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right) \quad (۳)$$

$$\rho g_z+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial y}+\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}=\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right) \quad (۴)$$

در اینجا σ_{xx}، σ_{yy}، σ_{zz} تنش‌های عمودی، τ_{zy}، τ_{zx}، τ_{yz}، τ_{xz}، τ_{xy}، τ_{yx} تنش‌های برشی، g_x، g_y، g_z مؤلفه‌های شتاب جاذبه، u، v، w مؤلفه‌های سرعت سیال، ρ چگالی سیال، t زمان و x، y، z مؤلفه‌های مکانی در جهت سه محور مختصات هستند. در یک سیال نیوتنی تنش‌های عمودی و برشی بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\sigma_{xx}=-p+2\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)-\frac{2}{3}\mu(\nabla.V) \quad (۵)$$

$$\sigma_{yy}=-p+2\mu\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)-\frac{2}{3}\mu(\nabla.V)$$

$$\sigma_{zz}=-p+2\mu\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)-\frac{2}{3}\mu(\nabla.V)$$

$$\tau_{xy}=\tau_{yx}=\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right) \quad (۶)$$

$$\tau_{xz}=\tau_{zx}=\mu\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)$$

$$\tau_{yz}=\tau_{yz}=\mu\left(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right)$$

ج) معادله آشفتگی:

از میان روش‌های مختلف مدل‌سازی جریان آشفته، مدل استاندارد k-ε به لحاظ ارائه دقت قابل‌قبول و هزینه محاسباتی کمتر، برای حل جریان مورد نظر انتخاب گردید. این مدل در پژوهش‌های مشابه پیشین عملکرد رضایت‌بخشی نشان داده است [۱۶ و ۲۳].

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho U_i k)}{\partial x_i} \quad (۷)$$
$$=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k})\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+P_k+P_b-\rho\varepsilon+S_k$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho U_i \varepsilon)}{\partial x_i} \quad (۸)$$
$$=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_1\frac{\varepsilon}{k}(P_k+C_3P_b)$$
$$-C_2\frac{\varepsilon^2}{k}+S_\varepsilon$$

$$\mu_t=c_\mu\rho\frac{k^2}{\varepsilon} \quad (۹)$$

در اینجا μ_t لزجت جریان آشفته، C_μ ثابت مدل جریان آشفته، k انرژی آشفتگی که از معادله $k=3(UI)^2/2$ بدست می‌آید (U سرعت میانگین و I شدت آشفتگی است)، ε نرخ اتلاف آشفتگی که از فرمول $\varepsilon=C_\mu^{3/4}k^{3/2}/l$ بدست می‌آید (l طول آشفتگی است.)، P_k مولفه تولید انرژی ناشی از گرادیان‌های سرعت متوسط جریان، P_b مولفه تولید انرژی ناشی از تغییرات نیروی شناوری، σ_k و σ_ε اعداد پرانتل متناسب با k و ε بوده و S_k و S_ε چشمه هستند. مقادیر ثابت C_μ، C_1، C_2، C_3، σ_k، و σ_ε به ترتیب معادل ۰/۰۹، ۱/۴۴، ۱/۹۲، ۱/۵، ۱/۳ و ۱ می‌باشند.

د) معادله انرژی:

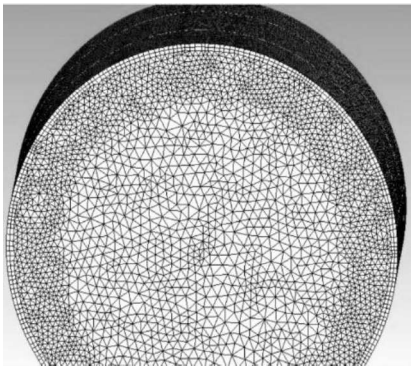
$$\rho\frac{De}{Dt}=-\nabla.q''+q'''-P\nabla.V+\mu\phi \quad (۱۰)$$

در اینجا e انرژی مخصوص داخلی، ρ چگالی سیال، t زمان، q''' آهنگ تولید گرمای داخلی، q'' بردار شارگرمایی، ϕ تابع اتلاف ویسکوز، μ لزجت و V بردار سرعت است. تابع اتلاف ویسکوز از معادله زیر محاسبه می‌شود:

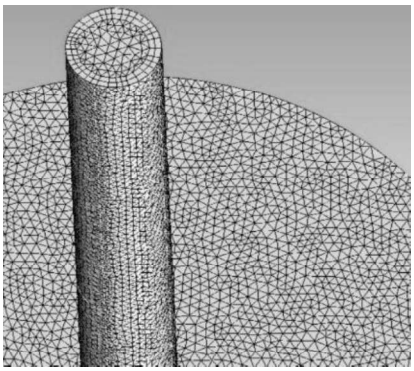
$$\phi=\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right] \quad (۱۱)$$
$$+\left[\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right]$$
$$-\frac{2}{3}\nabla.V$$

۲-۲- شبکه‌بندی و حل جریان

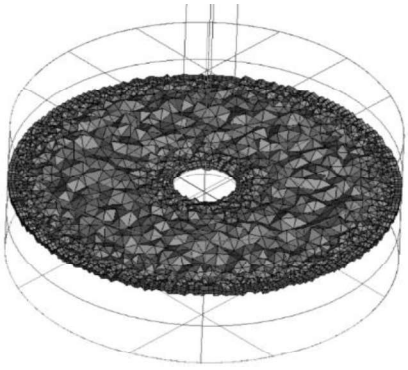
دامنه محاسباتی با شبکه ساختارنیافته هرمی چهار وجهی در نرم‌افزار ICEM ایجاد شد [۲۴]. نمایی از شبکه لایه مرزی صفحه پایین محفظه، دیواره جانبی و سطح مقطع دودکش و نواحی اطراف منبع حرارتی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در نزدیک دیواره‌ها از شبکه ریزتر استفاده شده است.



الف)



ب)



ج)

شکل ۲- شبکه‌بندی نماهای مختلف از الف) صفحه پایین محفظه ب) دیواره جانبی و سطح مقطع دودکش ج) نواحی حول منبع حرارتی.

بررسی استقلال نتایج از تعداد المان‌ها با مقایسه مجموع سرعت در ده نقطه دلخواه در مقطع ورودی برای دودکش ساده انجام شد. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. اختلاف بین شبکه‌های ۳۴۸،۷۴۷ و ۵۵۸،۲۵۱ حدود ۱/۶۴٪ است که عددی بسیار کوچکی است. با توجه به اینکه افزایش بیشتر المان تغییر محسوسی در نتایج ایجاد نمی‌کند از

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

شبکه‌ایی با ۵۵۸،۲۵۱ المان استفاده شد. مبنای شبکه‌بندی در هندسه‌های دیگر، کوچکترین اندازه المان در کناره دیواره‌های شبکه‌بندی منتخب است.

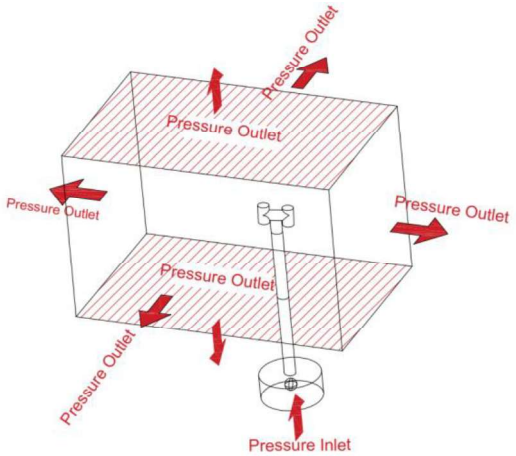
جدول ۱- بررسی استقلال نتایج از تعداد المان‌ها با مقایسه مجموع سرعت در ده نقطه دلخواه در مقطع ورودی.

ردیف	تعداد المان‌ها	مجموع سرعت‌ها در نقاط انتخابی (m/s)	اختلاف با شبکه قبلی (٪)
۱	۳۴۸،۷۴۷	۶/۷۳	مبنا
۲	۵۵۸،۲۵۱	۶/۸۴	۱/۶۴ ٪
۳	۷۶۹،۴۴۵	۶/۸۳	۰/۱۵ ٪
۴	۹۹۹،۸۵۵	۶/۸۱	۰/۲۹ ٪

در این مساله هوای محیط با دمای ۳۰۰ کلوین و فشار اتمسفر از ورودی واقع در کف محفظه (با شرط مرزی فشار ورودی[1]) به درون مکیده می‌شود و پس از عبور از اطراف منبع حرارتی و گرم شدن، به‌سمت خروجی دودکش جریان می‌یابد. به‌منظور مدل‌سازی جریان خروجی از دودکش و برهم‌کنش آن با هوای محیط، دامنه‌ای مکعبی در بالای دودکش در نظر گرفته شد که وجوه جانبی و بالایی آن با شرط مرزی فشار خروجی (اتمسفر) تعریف شده‌اند. بر روی تمامی دیواره‌های جامد (شامل دیواره دودکش، محفظه و سطح منبع حرارتی) شرط عدم‌لغزش اعمال شده است. سیال عامل هوا و تنها نیروی محرکه جریان، اختلاف چگالی ناشی از گرادیان دمایی است که توسط منبع حرارتی ایجاد می‌شود. شماتیک شرایط مرزی در شکل ۳ نشان داده شده است.

تغییرات چگالی سیال با تخمین بوزینسک[2] در نظر گرفته شد [۲۵ و ۲۶]. کوپل معادلات سرعت و فشار با الگوریتم PISO، گسسته‌سازی معادله فشار با الگوریتم PRESTO، معادلات مومنتم و معادله انرژی با مدل Second Order Upwind و جریان آشفته با روش First Order Upwind انجام شد [۲۷ و ۲۸]. برای حل جریان از نرم‌افزار فلوئنت استفاده گردید. معیار همگرایی برای معادلات پیوستگی و مومنتوم 10^{-3} و برای معادله انرژی 10^{-6} در نظر گرفته شد. تمامی شبیه‌سازی‌ها تا زمانی ادامه یافتند که حدود باقیمانده‌ها[3] به‌طور کامل برآورده شوند. علاوه بر این، شرط ثابت شدن مقدار دبی جرمی در ورودی دودکش به ازای حداقل ۲۰۰ تکرار اعمال شده است.

[1] Pressure Inlet
[2] Boussinesq
[3] Residual



شکل ۳- شماتیک شرایط مرزی. منبع حرارتی کره‌ایی با دمای ثابت ۱۸۰۰ کلوین درون محفظه پایین دودکش. ورودی هوا در قسمت پایین محفظه با شرط فشار ورودی با فشار اتمسفر و دمای ۳۰۰ کلوین، دامنه مکعبی که قسمت بالایی دودکش را در بر می‌گیرد برای مدل سازی هوای خروجی از دودکش تعبیه شده است. طبق فیزیک مساله، شرایط مرزی بر روی وجوه دامنه حل بصورت شرط فشار خروجی با فشار اتمسفر درنظر گرفته شد. عامل ایجاد حرکت در این مساله اختلاف دمایی است که منبع حرارتی ایجاد می‌کند و باعث مکیده شدن هوای سرد با دمای محیط ۳۰۰ کلوین از سمت ورودی و تخلیه هوای داغ از سمت خروجی دودکش می‌شود.

۳- نتایج

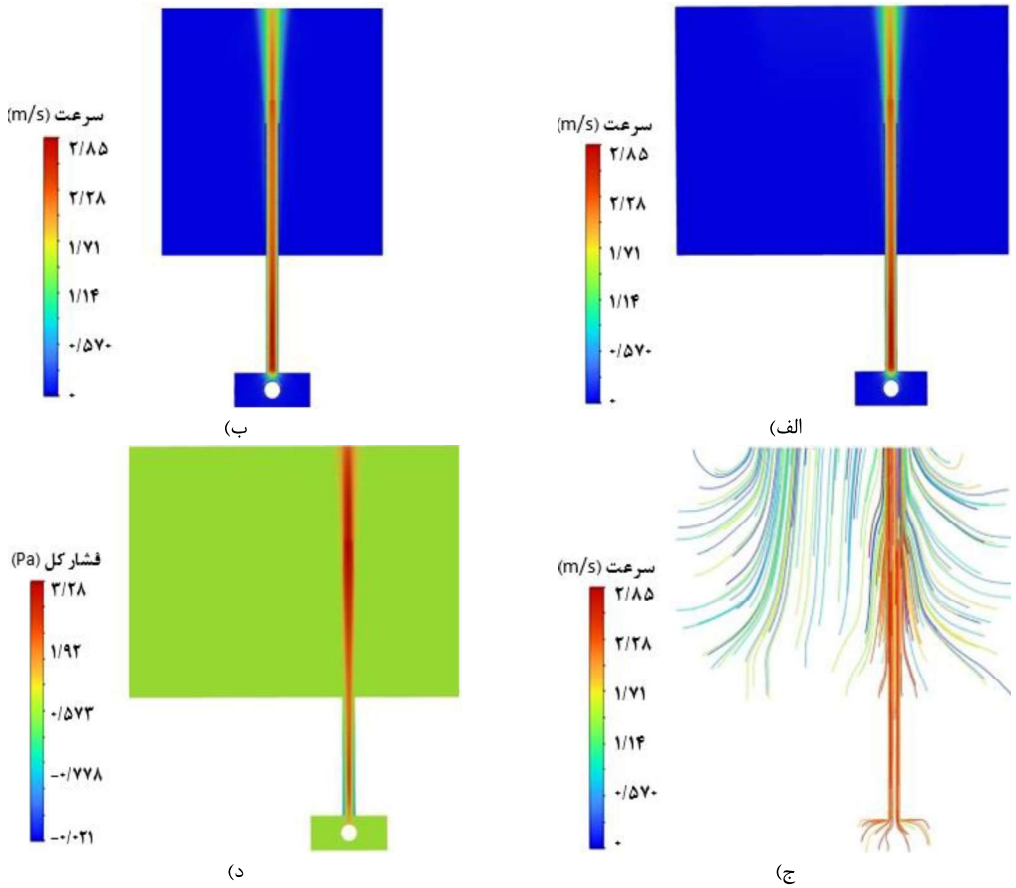
در این تحقیق اثر وجود کلاهک H و ابعاد آن بر عملکرد دودکش با بررسی میدان جریان، سرعت و فشار سیال درون دودکش شبیه‌سازی شد. از آنجایی که در پژوهش‌های پیشین، مطالعه‌ای مشابه با هندسه‌ی پژوهش حاضر وجود نداشت، به‌منظور اعتبارسنجی روش عددی و اطمینان از دقت حل‌گر به‌کاررفته در پژوهش حاضر، حل جریان در یک دودکش ساده بدون کلاهک با نتایج مقاله ادَمک[4] و همکاران، به‌عنوان مطالعه‌ی مبنا، مقایسه گردید [۱۶]. شبیه‌سازی برای دودکشی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر در شرایط فشار ورودی ۱۰ پاسکال، دمای گاز ورودی ۳۰۰ کلوین و دمای هوای محیط ۲۷۰ کلوین، مطابق با شرایط مطالعه‌ی مبنا انجام شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاضر، سرعت متوسط خروجی را ۴/۱۶ متر بر ثانیه برآورد می‌کند که در مقایسه با مقدار ۴/۱۴ متر بر ثانیه گزارش‌شده در مقاله مبنا، دارای اختلافی کمتر از ۱٪ است. این تطابق نزدیک و خطای ناچیز، بیانگر دقت بالای شبکه‌بندی، صحت اعمال شرایط مرزی و قابلیت اطمینان روش عددی مطالعه حاضر است.

[4] Adámek

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۳-۱- نتایج شبیه‌سازی دودکش بدون کلاهک

شکل ۴ الف) و ب) کانتور سرعت در صفحه میانی دودکش و صفحه عمود به آن را در حالت بدون کلاهک نشان می‌دهد. تشابه ظاهری میدان جریان در این دو صفحه عمود بر هم نشان‌دهنده حل دقیق جریان با رعایت تقارن فیزیکی در حل است. همانطور که مشاهده می‌شود، هوای داغ اطراف منبع حرارتی تحت اثر نیروی شناوری به سمت بالا و خروجی دودکش حرکت می‌کند و از انتهای آن به محیط بیرون تخلیه می‌شود. در نواحی مرکزی دودکش، جریان هوا بیشترین مقدار سرعت ۲/۸۵ متر بر ثانیه را دارد و سرعت متوسط در صفحه ورودی دودکش ۱/۹ متر بر ثانیه است. خطوط جریان در شکل ۴ ج) مسیر حرکت هوا را نشان می‌دهد. هوای داغ خروجی از دودکش، هوای ساکن محیط اطراف را به همراه خود به سمت بالا می‌کشد. شکل ۴ د) کانتور فشار کل را نشان می‌دهد. نواحی پر فشار با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. هوا در ورودی محفظه در شرایط مرزی فشار یک اتمسفر قرار دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پس از حل جریان، فشار در مقطع ورودی دودکش به صفر می‌رسد. این اختلاف فشار منجر به مکیده شدن هوا به درون دودکش می‌شود. هرچه مکش ایجادشده قوی‌تر باشد، جریان با سرعت بیشتر و سریع‌تر از دودکش خارج می‌شود. این مساله از نقطه نظر گرمایش فضای داخلی مطلوب نیست زیرا هوای گرم زمان کمتری برای تبادل حرارتی با محیط داخلی خواهد داشت. در ادواتی مانند کوره که هدف ایجاد گرمایش فضای محیط نیست، این پدیده می‌تواند مطلوب باشد. زیرا تخلیه سریع هوای داغ ناشی از احتراق، شرایط دمایی و تهویه فضای عملیاتی را بهبود می‌بخشد. تفاوت اصلی در وسایل گرمایشی و کوره‌های صنعتی در این است که در وسایل گرمایشی هدف گرم کردن فضایی است که وسیله درون آن قرار دارد این درحالی است که در کوره‌های صنعتی، هدف گرمایش فضای داخلی کوره است.



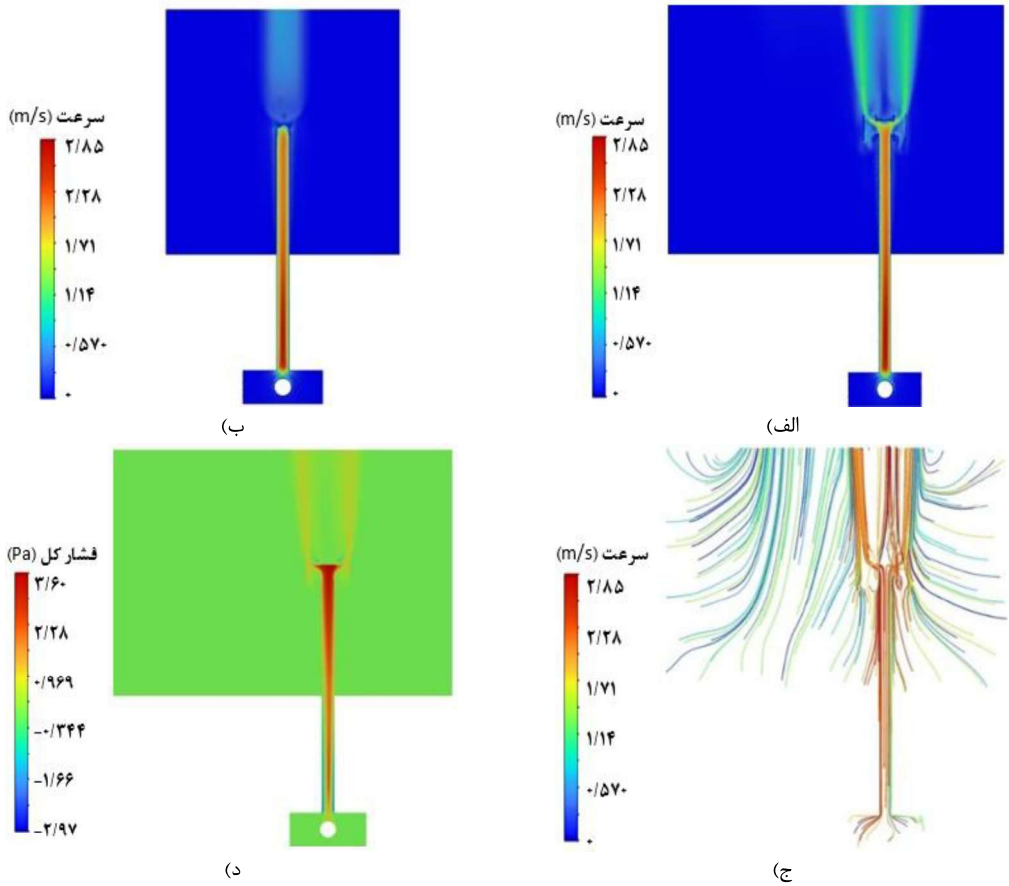
شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی جریان دودکش بدون کلاهک الف) کانتور سرعت در صفحه میانی دودکش ب) کانتور سرعت در برش عمود به صفحه میانی ج) خطوط جریان در صفحه میانی دودکش د) کانتور فشار کل در صفحه میانی دودکش.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۳-۲- نتایج شبیه‌سازی دودکش با کلاهک H

شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی دودکش با کلاهک را نشان می‌دهد. کانتور سرعت در صفحه میانی شکل ۵ الف)، جریان متقارن ایجاد شده در خروجی‌های کلاهک را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار جریان در خروجی‌های بالایی کلاهک بیشتر از خروجی‌های رو به پایین آن است. در شکل ۵ ب) نیزکانتور سرعت در صفحه عمود بر صفحه میانی دودکش، جریان غالب رو به بالا را بخوبی نشان می‌دهد. خطوط جریان در شکل ۵ ج) نمایش بهتری از مسیر حرکت هوای ساکن محیط بیرون بواسطه جریان داغ خروجی از دودکش نشان می‌دهد. کانتور فشار کلی در صفحه میانی شکل ۵ د)، نشان می‌دهد که در محل برخورد سیال با قسمت افقی کلاهک، فشار سیال افزایش می‌یابد. در این نواحی بواسطه برخورد جریان سیال با یال افقی، سرعت عمودی سیال تقریباً صفر می‌شود و مولفه افقی سرعت سبب خروج جریان به سمت یال‌های عمودی کلاهک می‌شود. وجود کلاهک در میسر خروجی دودکش مانعی برای خروج سیال است که به‌نوبه خود باعث افت فشار در مسیر جریان می‌شود. فشار کل در صفحه ورودی دودکش در حالت کلاهک‌دار مقدار ۰/۵ پاسکال بدست می‌آید که نسبت به حالت بدون کلاهک اختلاف فشار کمتری با محیط دارد. از این رو مقدار دبی جریان نیز کمتر خواهد بود. سرعت متوسط در مقطع ورودی دودکش کلاهک‌دار ۱/۸۵ متر بر ثانیه بدست می‌آید که تأییدکننده کاهش مقدار جریان عبوری از دودکش مجهز به کلاهک است.

برای مقایسه، میانگین سرعت و فشار در ورودی دودکش‌ها در حالت با و بدون کلاهک در جدول ۱ آورده شده‌است. در حالت بدون کلاهک، سرعت متوسط ۱/۹ متر بر ثانیه و میانگین فشار کل صفر پاسکال است. پس از افزودن کلاهک H، سرعت به میزان جزئی حدود ٪۲/۶ کاهش یافته و به ۱/۸۵ متر بر ثانیه می‌رسد. این در حالی است که میانگین فشار کل به ۰/۵ پاسکال افزایش می‌یابد.



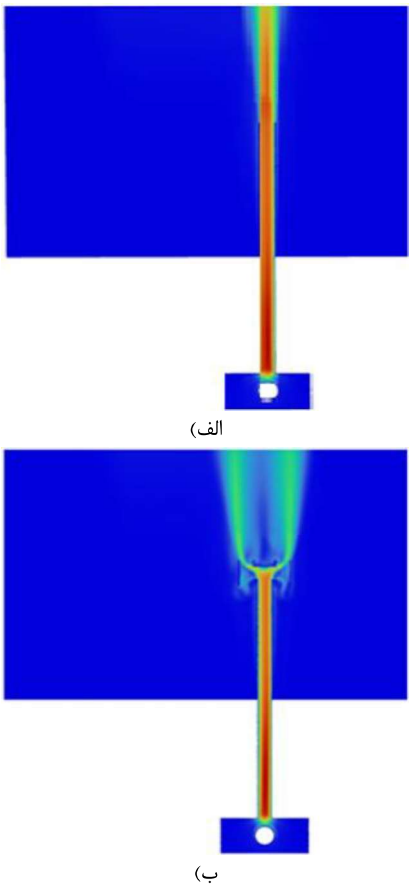
شکل ۵- نتایج شبیه‌سازی دودکش مجهز به کلاهک H الف) کانتور سرعت در صفحه میانی دودکش ب) کانتور سرعت در برش عمود به صفحه میانی ج) خطوط جریان در صفحه میانی دودکش د) کانتور فشار کل در صفحه میانی دودکش.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

جدول ۲- اندازه میانگین سرعت و فشار کل در ورودی دودکش درحالت با و بدون کلاهک.

ردیف	شرایط دودکش	سرعت متوسط (m/s)	میانگین فشار کل (Pa)
۱	بدون کلاهک	۱/۹	۰
۲	با کلاهک H	۱/۸۵	۰/۵

مقایسه کانتورهای اندازه سرعت در صفحه میانی در دو حالت با و بدون کلاهک در شکل ۶ نشان می‌دهد که در دودکش بدون کلاهک، سیال به سرعت از دودکش خارج می‌شود و مقدار زیادی از انرژی حرارتی به فضای آزاد تخلیه می‌شود. این در حالی است که در دودکش کلاهک‌دار، سرعت گاز خروجی کمتر است و سیال فرصت بیشتری برای تبادل حرارتی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که اتلاف انرژی حرارتی با گازهای خروجی از دودکش در مقایس‌های صنعتی بسیار حائز اهمیت است [۲۹].



الف)

ب)

شکل ۶- مقایسه کانتورهای اندازه سرعت در صفحه میانی دودکش الف) بدون کلاهک ب) با کلاهک.

۳-۳- تأثیر ابعاد هندسی کلاهک H

مطابق جدول ۳، اثر تغییر قطر و یال کلاهک در اندازه‌های مختلف بر سرعت متوسط در ورودی دودکش و همچنین مکش دودکشی بررسی شد. در قطر ثابت ۲۰ سانتی‌متر با کاهش یال به ۱۵ و یا افزایش آن به ۲۵ سانتی‌متر، سرعت سیال خروجی حدوداً ٪۵ کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که برای قطر ۲۰ سانتی‌متری، اندازه یال بهینه نیز ۲۰ سانتی‌متر است. هرگونه انحراف از آن، به دلیل افزایش افت موضعی در یال کوتاه‌تر یا افزایش افت اصطکاک در یال بلندتر، سبب کاهش سرعت می‌شود. در یال ثابت ۲۰ سانتی‌متر، افزایش قطر از ۲۰ به ۲۵ سانتی‌متر، مقدار سرعت را از ۱/۸۵ به ۱/۹۸ یعنی در حدود ٪۷ افزایش می‌دهد. در مقابل، کاهش قطر از ۲۰ به ۱۵ سانتی‌متر، سرعت را به شدت در حدود ٪۲۶ کاهش می‌دهد. کاهش همزمان قطر و یال به ۱۵ سانتی‌متر، در مقایسه با قطر و یال به ۲۰ سانتی‌متری، مقدار سرعت را حدود ٪۲۰ کاهش می‌دهد. افزایش همزمان قطر و یال به ۲۵ سانتی‌متر، بیشترین سرعت را با افزایش ٪۱۱ نسبت به قطر و یال به ۲۰ سانتی‌متری خواهد داشت. در این حالت از یک طرف قطر بزرگتر تلفات موضعی را کاهش می‌دهد و از طرف دیگر یال بلندتر ارتفاع مؤثر را افزایش می‌دهد. بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که به‌طورکلی اندازه قطر تأثیر غالب‌تر و حساسیت بیشتری نسبت به یال دارد. همچنین در هر قطری، بهینه حالت مربوط به یال هم اندازه با همان قطر است.

جدول ۳- اندازه سرعت متوسط و فشار دودکش کلاهک‌دار با ابعاد مختلف.

ردیف	ابعاد هندسی کلاهک H (cm)		سرعت متوسط (m/s)	مکش دودکش (Pa)
	قطر	یال		
۱	۲۰	۲۰	۱/۸۵	۶/۵
۲	۲۰	۱۵	۱/۷۵	۵/۸
۳	۲۰	۲۵	۱/۷۶	۵/۹
۴	۱۵	۲۰	۱/۳۶	۳/۵
۵	۲۵	۲۰	۱/۹۸	۷/۴
۶	۱۵	۱۵	۱/۴۸	۴/۲
۷	۲۵	۲۵	۲/۰۵	۸/۰

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر هندسه کلاهک H بر عملکرد دودکش وسایل گرمایشی دارای شعله به روش عددی بررسی شد. نتایج

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

بدست آمده نشان می‌دهد که در دودکش بدون کلاهک، خروج آزادانه و پرسرعت گازهای داغ منجر به کاهش زمان تبادل حرارتی بین سیال داغ و محیط مورد نظر می‌شود. استفاده از کلاهک H موجب افزایش یا کاهش مکش دودکشی و در نتیجه تغییر دبی جریان خروجی از دودکش می‌شود. افزایش یا کاهش مکش دودکشی به ابعاد هندسی کلاهک بستگی دارد. برای دودکشی به ارتفاع ۳ متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر، افزودن کلاهکی با قطر و یال ۲۰-۲۰ سانتی‌متر، منجر به کاهش ۰/۵٪ مکش دودکشی و کاهش ۲/۶٪ سرعت سیال در ورودی دودکش می‌شود. بررسی پارامتریک ابعاد مختلف قطر و یال کلاهک نشان می‌دهد که قطر کلاهک اثر غالب و قوی‌تری نسبت به یال آن بر تغییرات مکش دودکش و در نتیجه سرعت گازهای خروجی دارد. نتایج شبیه‌سازی کار حاضر نشان می‌دهد که به ازای یک اندازه یال ثابت، تغییرات ۵ سانتی‌متری در قطر می‌تواند مقدار سرعت را تا ۲۶٪ تغییر دهد. حال آنکه هنگامی که اندازه قطر ثابت باشد، تغییر ۵ سانتی‌متری در اندازه یال، مقدار سرعت را فقط ۵٪ تغییر می‌دهد. بیشترین مکش دودکشی مربوط به کلاهکی با بزرگترین قطر (قطر و یال ۲۵ سانتی‌متر) بود. با کاهش قطر کلاهک، مقدار مکش دوکشی کاهش می‌یابد. کاهش مکش دودکشی منجر به کاهش سرعت گازهای خروجی می‌شود. این مساله به لحاظ اینکه فرصت بیشتری را برای تبادل حرارتی فراهم می‌کند مطلوب است با این حال می‌بایست به افت فشار اضافی و خطر خاموشی شعله در صورت کاهش بیش از حد مکش دودکشی نیز توجه شود. بطور کلی یافته‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان مبنایی برای تدوین استاندارد ابعادی کلاهک H قرار گیرد. نسبت قطر کلاهک به قطر دودکش نقش کلیدی در عملکرد مکش دارد و باید بر اساس نوع کاربری (گرمایش ساختمان یا تخلیه صنعتی) بهینه‌سازی شود. در کاربردهای گرمایشی، استفاده از قطر کوچکتر به دلیل کاهش دبی و افزایش زمان ماندگاری گاز، بهره‌وری حرارتی را بالا می‌برد. این در حالی است که برای کوره‌های صنعتی، قطر بزرگتر برای تخلیه سریع مناسب‌تر است. همچنین در هر قطر، بهترین عملکرد زمانی حاصل می‌شود که یال کلاهک تقریباً برابر با قطر باشد که قاعده‌ای ساده برای طراحان فراهم می‌آورد. مطالعه‌ی حاضر تنها در شرایط بدون باد انجام شده است و تأثیر باد بر عملکرد کلاهک H نیازمند بررسی جداگانه است. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، اثر همزمان باد و ابعاد هندسی کلاهک بر مکش دودکش مطالعه شود. علاوه بر این، ابعاد خود دودکش نیز بر عملکرد آن تأثیرگذار است. از این رو بررسی اثر کلاهک H بر دودکش‌هایی با ارتفاع و قطرهای مختلف نیز حائز اهمیت است.

منابع

[1] Drozdzol K. Experimental testing of an innovative steel chimney with expanded perlite insulation in the context of fire safety of buildings. Case Studies in Construction Materials. 2026; 24:e05932. [DOI: 10.1016/j.cscm. 2026.e05932]

[2] Neri M, Drozdzol K, Bani S, Pilotelli M. Heat Transfer and Safety Risks in Horizontal Chimney Installations Through Walls. Fire Technology. 2025; 61(7):5695-718. [DOI: 10.1007/s10694-025-01804-z]

[3] BRITISH. Part 1: Specification for installation of gas appliances to chimneys and for maintenance of chimneys. 2008. [DOI: behineh-sazan.ir/wp-content/uploads/2023/02/BS-5440-1-2008.pdf]

[4] Khavanov P, Chulenyov A. Flue Gas Removal Systems Are a Key Issue in the Application of Condensing Boilers. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 2096(1):012057. [DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012057]

[5] Pourhoseini SH, Mohammadpoor M, Baghban M. RSM optimization of heat recovery from the chimneys of natural gas boilers using TEGs array: An approach for simultaneous generation of electric power and preheated water. Energy Conversion and Management. 2025; 331:119691. [DOI: 10.1016/j.enconman.2025.119]

[6] Thabit Q, Nassour A, Nelles M. Flue Gas Composition and Treatment Potential of a Waste Incineration Plant. Applied Sciences. 2022; 12(10):5236. [DOI: 10.3390/app12105236]

[7] Elehinafe FB, Aondoakaa EA, Akinyemi AF, Agboola O, Okedere OB. Separation processes for the treatment of industrial flue gases – Effective methods for global industrial air pollution control. Heliyon. 2024; 10(11). [DOI: 10.1016/j.heliyon. 2024.e32428]

[8] Babin T, Ramanathan S, Muthukumar S, Arun A, Subbiah S. Numerical investigation of backflow in natural draft chimneys. Materials Today: Proceedings. 2021; 45:1196-204. [DOI: 10.1016/j.matpr.2020.04.085]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[9] Hananel A, Garcia R, Vera A. Optimization of solar chimney performance through CFD modelling and parametric experimental design. An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications. 2026; 16(2):428-49. [DOI: 10.36922/IJOCTA025430181]

[10] Zade K, Sanghai S. A comprehensive review of design parameters governing structural, aerodynamic, thermal, and environmental performance of industrial chimneys. Discover Civil Engineering. 2026; 3(1):123. [DOI: 10.1007/s44290-026-00507-w]

[11] Tanriver K, Ay M. Comparison of calculation programs in a stainless-steel chimney application. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences. 2020; 7(10):97-111. [DOI: Tanriver/publication/343232006]

[12] Arzpeyma, M., Mekhilef, S., Newaz, K.M.S., Horan, B., Seyedmahmoudian, M., Akram, N., Stojcevski, A., Alnaimat, F. and Mathew, B. Numerical simulation of the effect of chimney configuration on the performance of a solar chimney power plant. 2010; 2(1):1-8. [DOI: sid.ir/paper/138548/en]

[13] Leppänen P, Inha T, Pentti M. An experimental study on the effect of design flue gas temperature on the fire safety of chimneys. Fire Technology. 2015; 51(4):847-66. [DOI: 10.1007/s10694-014-0415-4]

[14] Beygli K, Teymourtash A. Numerical simulation of the effect of a chimney as a ventilation duct by lateral injection of hot air into it. Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Engineering. 1396. [In Persian]. [DOI: elmnet.ir/doc/11197724-45115]

[15] Soofizadeh S, Pesteh SM, Amin L. Numerical study of the effect of chimney height and its distance from the rooftop parapet on chimney performance and exhaust gas dispersion in the cold season. 5th National Conference on Electrical Engineering and Mechatronics of Iran. 1398. [In Persian]. [DOI: civilica.com/doc/988442/]

[16] Adámek K, Jan Kolář, Pavel Peukert. Natural outlet of flue gases. AIP Conference Proceedings. 2016;1745(1):20001. [DOI: aip/acp/article-abstract/1745/1/020001/823040]

[17] Abbasalizadeh M, Dizji M Sh. Sliding chimney and its effect on improving efficiency and increasing chimney draft under adverse weather conditions. 4th National Symposium on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer. 1396. [In Persian]. [DOI: civilica.com/doc/740664/]

[18] Antczak-Jarząbska R, Niedostatkiewicz M. Application of the Chimney Cap as a Method of Improving the Effectiveness of Natural Ventilation in Buildings. Polish Maritime Research. 2020. [DOI: 10.2478/pomr-2020-0058]

[19] Kalantar V, Khayyaminejad A. Numerical simulation of a combination of a new solar ventilator and geothermal heat exchanger for natural ventilation and space cooling. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2022; 13(2):785-804. [DOI: 10.1007/s40095-021-00463-4]

[20] Samper A, Iglesias J, Herrera B, Pallares J. Flow analysis of a set of ornamental chimney caps designed by Antoni Gaudí. Heritage Science. 2020; 8(1):3. [DOI: 10.1186/s40494-019-0347-x]

[21] Waite T, Murray V, Baker D. Carbon monoxide poisoning and flooding: changes in risk before, during and after flooding require appropriate public health interventions. PLoS Curr. 2014; 6. [DOI: 10.1371/currents.dis.2b2eb9e15f9b982784938803584487f1]

[22] Ewald B, Crisp G, Carey M. Health risks from indoor gas appliances. Australian Journal of General Practice. 2022; 51(12):935-8. [DOI:10.3316/informit.786585213635569]

[23] Semai H, Bouhdjar A. Impact of the chimney geometry on the power output of solar chimney power plant. Thermophysics and Aeromechanics. 2021; 28(2):291-303. [DOI: 10.1134/S0869864321020128]

[24] Arzpeyma M, Mekhilef S, Newaz KMS, Horan B, Seyedmahmoudian M, Akram N, Stojcevski A, Alnaimat F, Mathew B. Numerical simulation of the effect of chimney configuration on the performance of a solar chimney power plant. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022; 147(3):2549-63. [DOI: 10.1007/s10973-021-10567-y]

[25] Babaei Spouei R, Zakariapour M, Naseri R. 01 Numerical simulation of solar chimney power plant (SCPP) in southern regions of Iran using finite volume numerical simulation. Iranian Journal of Energy. 2022; 25(1):61-75. [DOI: necjournals.ir/article-1-1776]

[26] Felaco E, Gasser I. Modelling, asymptotic analysis and simulation of the gas dynamics in

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

a chimney. Journal of Mathematics in Industry. 2013; 3(1):3. [DOI: 10.1186/2190-5983-3-3]

[27] Cui H, Chen J, Dong Z, Han Z, Liu Q. Numerical study of the fire-smoke temperature law in the shaft of a high-rise building under the chimney effect in winter. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. 2023; 17(1):2222811. [DOI: 10.1080/19942060.2222811]

[28] Shafiq F, Ullah A, Chughtai I, Hamid A, Nadeem M. CFD study of natural convection heat transfer from an enclosed assembly of vertical cylinders. 2017 14th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST). 2017. [DOI: 10.1109/IBCAST.2017.7868102]

[29] Kianifar A, Kazemi A, Sheikhan H, Pishbin SI. Modeling of heat loss from the chimney of a heater in a natural gas pressure reducing station. 1st National Conference on Environment, Energy and Biological Defense. Tehran. 2013. [In Persian]. [DOI: civilica.com/doc/264672]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]