



تأثیر آرایش دهانه خروجی دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کننده بر میدان جریان و توزیع دود

علی اصغر صدیقی^۱، مجید بازارگان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۲- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

* صندوق پستی ۱۹۹۹-۱۹۳۹۵، bazargan@kntu.ac.ir

چکیده- در این مقاله دودکش‌ها و یا برج‌های خنک‌کننده با آرایش دهانه خروجی متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است. اثر آرایش دهانه خروجی نسبت به جهت باد بر مسیر حرکت دود و نحوه پخش آن مورد توجه ویژه واقع شده است. برای مدل‌سازی آشفتگی در جریان دود خروجی از دودکش، از مدل $k-\epsilon$ غیرخطی استفاده شده است. هنگام استفاده از دودکش با چند خروجی، مسیر حرکت آلاینده‌ها و نیز نحوه پخش آن‌ها به جهت وزش باد بر دودکش وابسته است. بسته به جهت باد، مسیر حرکت آلاینده در مقایسه با حالت دودکش با تک خروجی می‌تواند به بالاتر و یا پایین‌تر نسبت به سطح زمین منتقل شود. علت این تغییرات به نحوه تاثیرگذاری میدان‌های کم‌فشار پایین‌دست جریان و پرفشار بالادست جریان بر گردابه‌های CVRP است. نحوه پخش آلاینده نیز بسته به جهت باد و شکل هندسی خروجی دودکش می‌تواند دستخوش تغییرات گردد که در این مقاله بررسی می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: دودکش، آلاینده، چند خروجی، ارتفاع دود خروجی

Investigation on the effects of outlets configuration of stacks and cooling towers on flow field and plume dispersion

A. A. Sedighi¹, M. Bazargan^{2*}

1- MSc. Student, Mech. Eng., K. N. Toosi Univ. of Technology, Tehran, Iran

2- Assoc. prof., Mech. Eng., K. N. Toosi Univ. of Technology, Tehran, Iran

* P. O. B. 1999143344 Tehran, bazargan@kntu.ac.ir

Abstract- In this paper, pollutants flows coming out of stacks or cooling towers with different outlet shapes have been numerically studied. The effects of exhaust outlet on plume rise, and the pollutant dissipation are investigated. To simulate the flow turbulence, realizable $k-\epsilon$ model is employed for the case of a stack flow with more than one exhaust outlet on the influence of wind condition. The plume rise and dissipation of pollutant are depending on the direction of the wind and the shape of exhaust outlet. Depending on wind direction and shape of exhaust outlet, higher or lower levels of plume rise can be obtained with various kind of pollutant dissipation. These changes are due to the influence of high pressure upstream and low-pressure downstream flow fields of outlet from stacks on the counter vertex rotating pair. The maximum concentration and dissipation of pollutant for various wind directions and output configurations are examined.

Keywords: Stack, Pollutant, Multi-Flue, Plume Rise

۱- مقدمه

به علت ارتباط مداوم آلودگی هوا با سلامتی انسان، گیاهان و محیط اطراف، تلاش‌های فراوانی در سال‌های اخیر برای کاهش انتشار در مرحله سوختن و پراکنده نمودن دود از دودکش‌ها انجام شده است. دود خروجی از دودکش با قرار گرفتن در مسیر جریان جانبی هوا گردابه‌هایی به وجود می‌آورد که بر نحوه انتشار در نزدیکی خروجی تأثیرگذار است. مسائل جت در جریان جانبی از دیدگاه آشفتنگی به دلیل وجود گردابه‌های متعدد دارای پیچیدگی می‌باشند [۱]. بررسی دود خروجی از دودکش از دسته مسائل پیچیده جت در جریان جانبی به حساب می‌آید.

بررسی و مطالعه گازهای خروجی از دودکش به درون جریان جانبی اتمسفر ارتباط مستقیمی به نحوه تعریف پارامترهای موثری از قبیل نسبت چگالی و سرعت گازهای خروجی از دودکش به جریان هوا، ارتفاع دودکش، نحوه قرارگیری آن در جریان و شکل هندسی خروجی آن دارد. با تغییر هر یک از این پارامترها نحوه پخش گاز خروجی دستخوش تغییراتی می‌شود. بررسی هیدرودینامیک و انتقال حرارت دود خروجی از دودکش را می‌توان زیرمجموعه‌ای از مسائل جت در جریان جانبی دانست که از سال‌ها پیش مورد مطالعه قرار گرفته است.

اثرات دودکش‌های کنار هم بر نحوه پخش آلاینده‌ها در تونل باد مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شد که غلظت آلاینده در نزدیکی زمین، به هنگام استفاده از چند دودکش به مراتب بیش از حالت تک دودکش می‌باشد [۲]. گروهی از دانشمندان، بازده دودکش‌ها را مورد بررسی قرار داده و نشان داده‌اند که بازده بسیار وابسته به شرایط مرزی جریان باد بوده و تحت تأثیر این پارامتر می‌تواند بسیار کاهش یابد. در این بررسی‌ها نشان داده شد که جدایی جریان باعث انحراف مسیر دود شده و بنابراین بازده کاهش می‌یابد. از این رو نوع خاصی از خروجی دودکش به منظور کاهش اثرات انحراف مسیر دود مورد مطالعه قرار گرفته است [۳]. به منظور پراکنده نمودن دود خروجی از دودکش و ممانعت از ایجاد میدان‌های غلیظ آلاینده در نزدیکی زمین، از دودکش‌های بلند استفاده می‌شود [۴]. ساخت دودکش‌های بلند پرهزینه است و در پاره‌ای از موارد که دودکش در نزدیکی شهرها قرار می‌گیرد، اثرات ناخوشایندی بر

سیمای شهر می‌گذارد. هنگامی که دود خروجی از دودکش برای سلامتی انسان‌ها مضر می‌باشد، استفاده از دودکش‌های بلند توجیه منطقی دارد. اما در پاره‌ای از موارد آنچه از دودکش خارج می‌گردد بخار آب و گازهایی است که برای سلامتی مضر نمی‌باشند. در این حالت استفاده از ساختمانی شبیه به برج‌های خنک‌کن که دارای ارتفاع کم می‌باشند توجیه منطقی دارد و باعث کاهش هزینه‌های ساخت می‌گردد. جت و غبار خروجی، توسط گروه بزرگی از پژوهشگران به طور مداوم مورد مطالعه قرار گرفته است. آلوارز و همکارانش [۵] یک منبع گسترده از کارهای گذشته در ارتباط با مسائل جت در جریان جانبی را فراهم آورده‌اند. مرونی نیز به جمع‌آوری نتایج حاصل از کارهای گذشته در ارتباط با مسئله پخش آلاینده‌ها از دودکش‌ها با ارتفاع‌های متفاوت و تأثیر موانع اطراف دودکش پرداخته است [۶]. یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در مسائل جت در جریان جانبی، مسیر جت خروجی است. در دودکش‌ها نیز آلاینده، پس از خروج از دودکش، مسیری را در طول جریان باد دنبال می‌کند. مسیر خروج جت در یک جریان جانبی را می‌توان براساس پارامترهای مختلفی تعریف نمود. به عنوان مثال می‌توان مسیر دود خروجی از دودکش را از اتصال نقاط دمای ماکزیمم روی صفحه تقارن دودکش و در مسیر باد به دست آورد. روابط تحلیلی متفاوتی برای تعیین مسیر دود خروجی از دودکش ارائه شده است [۸،۷]. مطالعاتی نیز در ارتباط با قرارگیری دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کن در پشت سر هم ارائه شده است. به نحوی که دودکش یا برج خنک‌کن در امتداد یکدیگر و یا کنار هم قرار گرفته‌اند [۹]. همچنین، مطالعات تجربی کامل‌تری نیز در ارتباط با زاویه قرارگیری دو دودکش در امتداد مسیر باد و نیز ارتباط مسیر دود خروجی از دودکش با تغییر سرعت سیال خروجی از آن صورت گرفته است [۱۰،۱۱].

در سال‌های اخیر استفاده از دودکش‌های با چند خروجی رایج شده و مطالعاتی گوناگونی بر روی آن صورت گرفته است که می‌توان به عنوان نمونه به مسیر دود خروجی از یک چیدمان خاص خروجی اشاره نمود [۱۲]. اگر از دودکش با یک خروجی استفاده شود، تمام آلاینده‌ها می‌بایست از یک مجرا خارج شوند و هنگامی که مجرا نیاز به تعمیر داشته باشد و یا قابل استفاده نباشد، آلاینده نمی‌تواند خارج شود و می‌بایست

نتایج برای سه حالت I، II و III نشان داده شده در شکل بررسی خواهند شد.

۳- معادلات حاکم و شرایط مسئله

معادلاتی که در مدل‌سازی دودکش در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته از نظر تعداد و نوع در جدول ۱ نشان داده شده است و در ادامه روابط مربوط به آن‌ها ارائه می‌گردد.

معادلات	تعداد
پیوستگی	۱
مومنتوم	۳
انرژی	۱
توربولانس	۲
نفوذ	۱

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

رابطه (۱) فرم کلی معادله پیوستگی را برای سیال قابل تراکم و غیرقابل تراکم بیان می‌دارد. S_m منبعی است که جرم اضافه شده به معادله را به سبب تبخیر، تصعید و سایر تبدیل حالت‌ها بیان می‌دارد.

معادله مومنتوم:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = & \\ - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] & \\ + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) & \end{aligned} \quad (2)$$

معادله انتقال در مدل $k-\varepsilon$ غیرخطی:

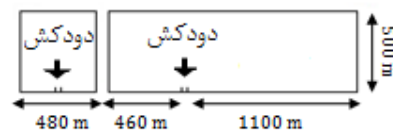
$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = & \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon + S_k & \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) & \\ + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (C_{3\varepsilon} G_b) + S_\varepsilon & \end{aligned} \quad (4)$$

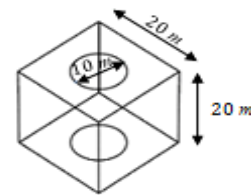
فعالیت سیستم را متوقف نمود. این در حالی است که اگر از دودکش با چند خروجی استفاده شود، می‌توان به راحتی یکی از مجراها را از سیستم خارج نمود به طوری که سیستم متوقف نشود [۱۳]. در این پژوهش، به مدل‌سازی نمونه‌ای [۱۴] پرداخته می‌شود که در چندین مقاله از آن به عنوان مرجع داده‌های تجربی استفاده شده است.

۲- تعریف مسئله

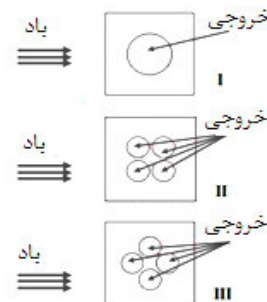
در شکل‌های ۱ و ۲، به ترتیب، شمایی از ابعاد فضای محاسباتی و کل دودکش نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است، عمق فضای محاسباتی ۴۸۰m در نظر گرفته شده است. دودکش و فضای محاسباتی که در تونل باد مورد آزمایش قرار گرفته است، ۳۰۰ برابر کوچک‌تر از اندازه‌هایی است که در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. در روش عددی نیز ابعاد آزمایشگاهی مورد تحلیل قرار می‌گیرند. دهانه دودکش مورد تحلیل به روش عددی در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱ نما و ابعاد فضای حل



شکل ۲ نما و ابعاد دودکش



شکل ۳ نمایش مقاطع مختلف دودکش در مسیر باد

جدول ۳ ورودی جریان جانبی هوا [۱۲]

مقدار	مشخصه
۰/۳۹	سرعت m/s
x	جهت اعمال سرعت
۲۸۸	دما (کلوین)
۰	انرژی توربولانس
۰	نرخ اتلاف انرژی توربولانس

مدل استفاده شده سه‌بعدی و پایا می‌باشد. در ارتباط با مدل استفاده شده و فرضیات حاکم، در جدول ۴ مطالب مختصری ارائه شده است.

جدول ۴ مدل استفاده شده و فرضیات حاکم

مدل	فرضیات
فضای محاسباتی سه‌بعدی	
وابستگی به زمان پایا	
مدل توربولانسی k-ε غیرخطی	
رفتار در کنار دیوار	استفاده از تابع دیوار استاندارد
معادله انرژی فعال	
معادله نفوذ واکنش وجود ندارد و معادله برای دو گونه حل می‌شود	

سیال خروجی از دودکش جهت به‌دست آمدن نسبت چگالی دود خروجی به جریان هوا که برابر با ۰/۷۴ می‌باشد، ترکیبی از هوا و هلیوم در نظر گرفته شده است [۱۲]. پس از نشان دادن صحت نتایج برای حالت I به بررسی نتایج مربوط به دو حالت II و III پرداخته می‌شود.

برای حل مسئله مذکور از نرم‌افزار فلونت استفاده شده است و جهت حصول نتایج دقیق‌تر، از کدهای کمکی جهت تکمیل نمودن محاسبات استفاده می‌گردد.

در شکل ۴ نمایی از شبکه‌بندی میدان حل ارائه شده است (جهت نمایش بهتر شبکه‌بندی، صرفاً قسمت تحتانی فضای محاسباتی نمایش داده شده است). همان‌گونه که مشخص است، از شبکه‌بندی باسازمان جهت شبکه‌بندی فضای محاسباتی استفاده شده است مگر در نواحی از میدان حل (مانند درون دودکش و بالای آن) که استفاده از شبکه بی‌سازمان مناسب‌تر است. در قسمت پایین شکل ۴، شبکه‌بندی اطراف دودکش نمایش داده شده است. این بخش به طور شماتیک به صورت واضح‌تر و با تعداد نقاط محاسباتی کمتر در شکل ۵ نمایش داده شده است.

در معادلات فوق G_k نشان‌دهنده نرخ تولید انرژی توربولانس به وسیله گرادیان متوسط سرعت می‌باشد. G_b نشان‌دهنده نرخ تولید انرژی توربولانس به واسطه نیروهای شناوری موجود است. تاثیرات تراکم‌پذیری در هیچ یک از معادلات توربولانس فوق در نظر گرفته نشده است. S_k و S_ϵ جمله منبع معادلات فوق می‌باشند.
معادله نفوذ گونه:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho u Y_i) = -\nabla \cdot \bar{J}_i + R_i + S_i \quad (5)$$

در معادله فوق R_i مربوط به تولید گونه i به واسطه واکنش‌های شیمیایی می‌باشد. در دودکش‌ها معمولاً دمای خروجی به اندازه کافی برای برقراری یک واکنش شیمیایی بالا نمی‌باشد و جمله مربوطه قابل صرف‌نظر کردن است. جمله S_i مربوط به تولید گونه i به واسطه انتشار از منبع می‌باشد. J_i نمایش‌دهنده جمله پخش از معادله (۵) می‌باشد که به علت وجود گرادیان غلظت حادث می‌شود. این جمله از معادله با توجه به غلظت آلاینده، تعاریف متفاوتی را شامل می‌شود.

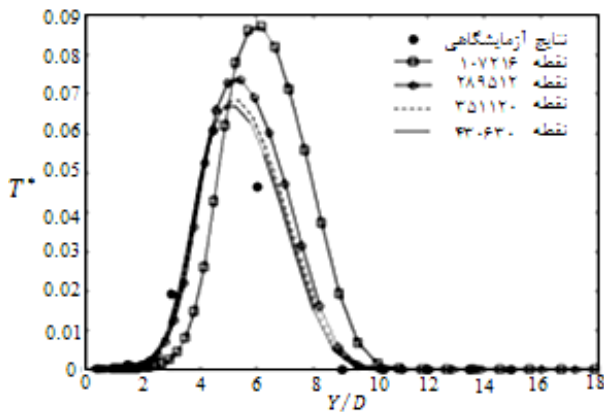
در اینجا فرض بر آن بوده که در خط مرکزی مسیر دود به علت وجود گردابه‌های متعدد، نقش جمله جابجایی نسبت به پخش در معادله بیشتر است و هرچه از خط مسیر دود فاصله گرفته شود، جمله پخش اهمیت پیدا می‌کند. با توجه به فرض مطرح شده، دور از مسیر اصلی دود، یعنی در جایی که غلظت کم می‌باشد، جمله پخش دارای اهمیت است. بنابراین از مدل رقیق جمله پخش در این مقاله استفاده شده است که به شرح زیر می‌باشد.

$$\bar{J}_i = -\rho D_{i,m} \nabla Y_i \quad (6)$$

در معادله فوق، $D_{i,m}$ نشان‌دهنده ضریب نفوذ می‌باشد. شرایط مرزی حاکم بر دودکش در جدول ۲ و شرایط مرزی حاکم بر جریان جانبی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲ ورودی دودکش [۱۲]

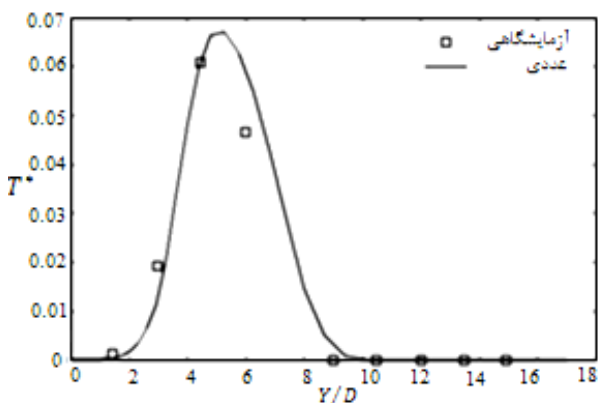
مقدار	مشخصه
۰/۹۰۸۷	سرعت m/s
y	جهت اعمال سرعت
۳۸۸	دما (کلوین)
٪۳/۶	شدت توربولانس
۰/۰۰۳۳	مقیاس طولی توربولانس



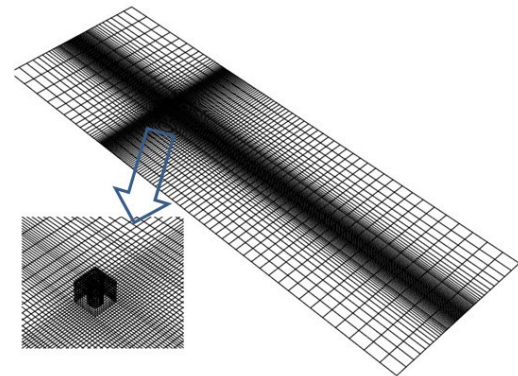
شکل ۶ مقایسه نتایج برای شبکه با اندازه‌های مختلف در فاصله $10D$ پشت دودکش

۴- نتایج

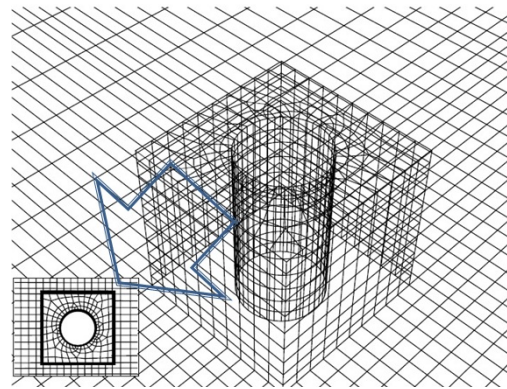
در ابتدا به بررسی حالت I پرداخته شده است. نتایج مربوط به T^* بر روی خط عمود بر زمین و گذرنده از نقطه ماکزیمم دما در پشت دودکش و به فواصل متفاوت $10D$ و $40D$ از پایین‌دست دودکش ارائه و با داده‌های آزمایشگاهی موجود مقایسه شده است. حاصل این مقایسه در شکل‌های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل‌های ۷ و ۸ مشخص است، تطابق خوبی میان نتایج عددی و آزمایشگاهی برای دودکش با یک خروجی مشاهده می‌شود. در ادامه، مسیر حرکت دود خروجی از دودکش، بر اساس دمای ماکزیمم به همراه نتایج حاصل از روش تحلیلی ویل در شکل ۹ نمایش داده شده است. مسیر حرکت دود بر اساس دمای ماکزیمم، با وصل نمودن نقاط دمابالا در فواصل مختلف نسبت به دودکش، در پشت آن و بر روی صفحه تقارن دودکش به‌دست آمده است.



شکل ۷ مقایسه بین نتایج تجربی و عددی در فاصله $10D$

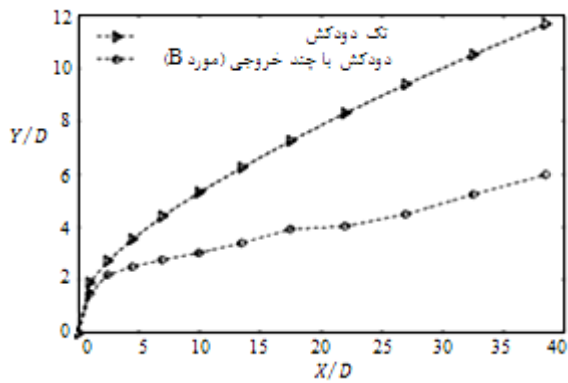


شکل ۴ شبکه‌بندی میدان حل در قسمت تحتانی



شکل ۵ شبکه‌بندی میدان حل در نواحی اطراف دودکش

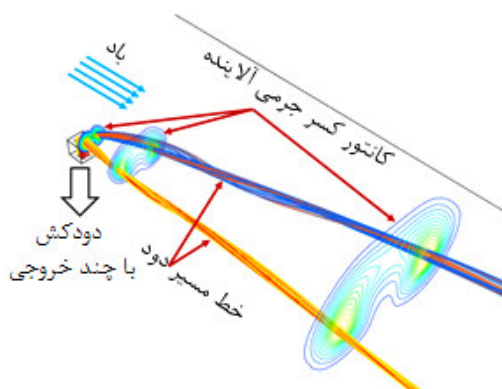
پس از گسسته‌سازی معادلات، آن‌ها بر روی شبکه‌های تشکیل شده مقداردهی می‌شوند و سپس در طی مراحل مختلف اصلاح می‌گردند. نتایج به‌دست آمده وابسته به شرایط گوناگونی از جمله تعداد شبکه‌های موجود می‌باشد. بنابراین لزوم بررسی شبکه در حل مسائل احساس می‌شود. در شکل ۶، نتایج برای شبکه‌بندی‌های متفاوت ارائه شده است. در شکل زیر، T^* دمای بی‌بعد می‌باشد که در یک نقطه از فضا عبارت از نسبت تفاضل دمای آن نقطه و جریان هوا به اختلاف دمای دود خروجی و نقطه ماکزیمم دما در پشت دودکش محاسبه گردیده است. شایان ذکر است که شبکه‌بندی و نتایج نمایش داده شده در شکل ۶ مربوط به حالت I می‌باشند و از گزارش اطلاعات مربوط به شبکه‌بندی و استقلال از آن برای حالات II و III پرهیز شده است. در نمودارهایی که در ادامه ارائه می‌گردد، D نمایش‌دهنده قطر خروجی دودکش است و به عنوان پارامتری جهت بی‌بعدسازی فاصله مورد استفاده قرار گرفته است.



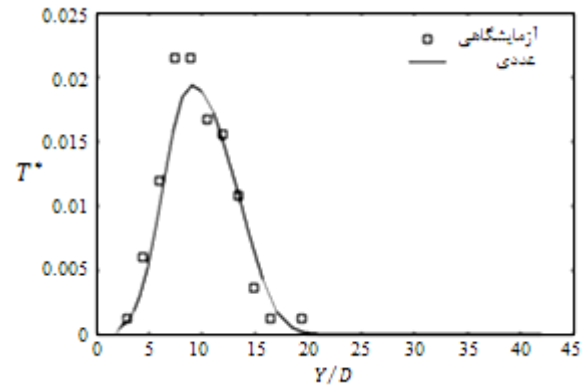
شکل ۱۰ نمایش خط مسیر دود خروجی از یک دودکش با یک و چند خروجی

در شکل ۱۱ خطوط جریان دود خروجی از دودکش به همراه کانتورهای غلظت مربوط به صفحات مختلف در پشت دودکش نمایش داده شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است، جریان خروجی از دودکش به هنگام خروج، گردابه‌هایی را تشکیل می‌دهد و لبه‌های خارجی جریان دود به واسطه آن از یکدیگر دور می‌گردند. هنگام خروج دود از دودکش، مانعیتی در مسیر باد به وجود می‌آید که باعث می‌شود فشار در پشت دود خروجی کمتر از نواحی اطراف آن گردد. این امر باعث می‌شود که آلاینده خروجی از دودکش که به سمت اطراف منتقل می‌شود، تحت تأثیر این میدان فشار قرار گیرد و باعث شود که لبه‌های بیرونی دود به هم نزدیک شوند و مسیر حرکت دود به سطح پایین‌تری انتقال یابد.

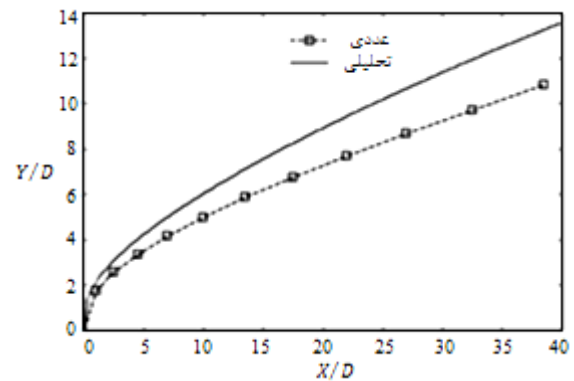
در ادامه و در شکل ۱۲ مسیر دود خروجی از دودکش بر اساس دمای ماکزیمم برای حالت‌های I، II و III نمایش داده شده است.



شکل ۱۱ مسیر دود خروجی از دودکش به همراه کانتورهای غلظت



شکل ۸ مقایسه بین نتایج تجربی و عددی در فاصله $40D$



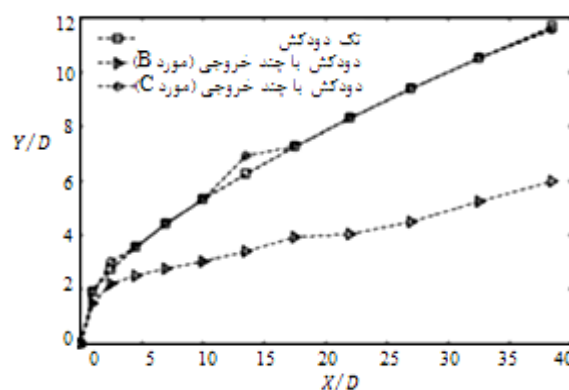
شکل ۹ نمایش خط مسیر دود خروجی از دودکش بر اساس دمای ماکزیمم و مقایسه با نتیجه تحلیلی ویل

همان‌طور که از شکل ۹ مشخص است، نتایج عددی در نزدیکی دودکش به منحنی حاصل از رابطه تحلیلی ویل نزدیک‌تر می‌باشد. حال پس از بررسی دودکش با یک خروجی، نتایج حاصل از دودکش با چند خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌طور که از شکل ۱۰ مشخص است، استفاده از دودکش با چند خروجی، هنگامی که نحوه قرارگیری در مسیر باد مطابق حالت II شکل ۳ باشد، باعث می‌گردد مسیر آلاینده‌ها به سمت زمین متمایل گردد و پایین‌تر از حالت تک خروجی قرار گیرد.

می‌توان پیکربندی حالت II را همانند حالتی دانست که دو دودکش در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که این امر باعث می‌گردد ناحیه فشار پایین در پشت دود خروجی از دودکش به‌وجود آید. در نتیجه لبه‌های بیرونی دود خروجی، به سمت داخل کشیده می‌شوند و مسیر دود خروجی به سمت پایین منتقل می‌گردد.

جدول ۵ حداکثر درصد جرمی در حالت‌های متفاوت خروجی دودکش

حالت دهانه خروجی	صفحه مورد بررسی	حداکثر درصد جرمی
شکل (۳) I	۲D	۰/۰۵۵۳۶۶۳
شکل (۳) I	۱۰D	۰/۰۱۰۸۱۴۷
شکل (۳) I	۴۰D	۰/۰۰۲۱۳۴۰۲
شکل (۳) II	۲D	۰/۰۶۰۱۶۶۵
شکل (۳) II	۱۰D	۰/۰۱۳۸۰۸۴
شکل (۳) II	۴۰D	۰/۰۰۲۷۷۶۱۶
شکل (۳) III	۲D	۰/۰۵۶۲۷۱۸
شکل (۳) III	۱۰D	۰/۰۱۰۷۶۲۶
شکل (۳) III	۴۰D	۰/۰۰۲۱۱۰۲۳



شکل ۱۲ مقایسه بین نتایج تجربی و عددی در فاصله ۴۰D

۵- نتیجه‌گیری

استفاده از دودکش‌های با چند خروجی باعث می‌شود که هنگام نیاز به تعمیر مجرای خروجی دود، سیستم متوقف نشود و این در حالی است که اگر از سیستم با یک خروجی استفاده شود، برای تعمیر می‌بایست سیستم متوقف گردد. جریان خروجی از دودکش تابعی از هندسه خروجی و جهت باد می‌باشد. به طوری که هنگام استفاده از یک دودکش با چند خروجی، تغییر جهت بردار باد باعث می‌گردد که مسیر دود خروجی به سمت پایین و یا بالا منتقل شود که در سه حالت I، II و III بررسی گردید. علت این تغییرات به نحوه تاثیرگذاری میدان‌های کم‌فشار پایین‌دست جریان و پرفشار بالادست جریان بر گردابه‌های CVRP است که در قسمت نتایج به آن پرداخته شده است. همچنین جهت باد بر میزان ادغام دود خروجی با هوا نیز تاثیرگذار است و باعث می‌گردد ماکزیمم درصد جرمی خروجی آلاینده در مقطعی کاهش و یا افزایش یابد. بنابراین استفاده از دودکش با چند خروجی، علاوه بر مزیت ذکرشده در ابتدا دارای معایبی است که از جمله آن می‌توان وابستگی میدان جریان خروجی از آن به جهت باد را نام برد.

۶- مراجع

- [1] Blanchard J. N., Brunet Y., Merlen A., "Influence of a Counter Rotating Vortex Pair on the Stability of a Jet in a Cross Flow: an Experimental Study by Flow Visualizations", *Experiments in Fluids*, Vol. 26, 1999, pp. 63-74
- [2] Ruscheweyh H., Fischer K., "Aerodynamic Effects of Large Natural-Draught Cooling Towers on the Atmospheric Dispersion from a Stack", *Journal of*

همان‌طور که از شکل مشخص است، تفاوت چندانی در مسیر دود خروجی از دودکش در حالت I و III دیده نمی‌شود و تقریباً این دو بر هم منطبق می‌باشند. هنگام خروج دود از دودکش در حالت III، خروجی بالادست جریان ممانعتی در مسیر باد ایجاد می‌نماید و مانع از حرکت باد به ناحیه بین دو خروجی پایین‌دست می‌شود. بنابراین جریانی که در حالت II بررسی گردید، رخ نمی‌دهد. از آنجا که فاصله بین خروجی‌های جریان در حالت III کم است، آلاینده‌های خروجی از دودکش سریعاً با یکدیگر ادغام می‌شوند و بنابراین حالت III را می‌توان مانند دودکش با تک‌خروجی در نظر گرفت. همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، مسیر خروجی دود در حالت II پایین‌تر از حالت I است.

مسیر دود خروجی در حالت‌های مذکور کاملاً وابسته به فاصله‌ای است که خروجی‌های دودکش نسبت به یکدیگر دارند و آنچه در اینجا نمایش داده شده است مربوط به فاصله مشخص خروجی‌های دودکش از یکدیگر است. اگر خروجی‌های دودکش به یکدیگر نزدیک شوند و یا از هم فاصله گیرند، نتایج جدیدی برای مسیر دود خروجی به‌دست خواهد آمد.

در جدول ۵ دودکش‌های با چند خروجی از نگاهی دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این جدول، غلظت ماکزیمم در صفحات مختلف در پشت دودکش ارائه گردیده‌اند.

همان‌طور که روشن است، هنگام استفاده از دودکش با خروجی حالت II غلظت در صفحات مختلف بیشتر است. یعنی ادغام آلاینده خروجی با هوا کمتر صورت می‌گیرد. حالت‌های I و III از نظر ماکزیمم درصد جرمی آلاینده نیز به یکدیگر شباهت دارند.

- Crossflows”, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, 2001, pp. 6105-6115.
- [10] Macdonald R. W., Strom R. K., Slawson P. R., “Water Flume Study of the Enhancement of Buoyant Rise in Pairs of Merging Plumes”, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, 2002, pp. 4603-4615.
- [11] Contini D., Robins A., “Experiments on the Rise and Mixing in Neutral Cross Flow of Plumes from Two Identical Sources for Different Wind Directions”, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 2004, pp. 3573–3583.
- [12] Mokhtarzadeh-Dehghan M. R., König C. S., Robins A. G., “Numerical Study of Buoyant Plumes from a Multi-Flue Chimney Released into an Atmospheric Boundary Layer”, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, 2002, pp. 3951-3962.
- [13] Grubb K. P., “The Development, Design and Operation of Large Multi-Flue Chimneys for Thermal Power Stations in the United Kingdom”, *Third International Chimney Design Symposium*, Munich, October 1978, pp. 30–36.
- [14] Mokhtarzadeh-Dehghan M. R., König C. S., Robins A. G., “Numerical Study of Single and Two Interacting Turbulent Plumes in Atmospheric Cross Flow”, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, 2006, pp. 3909-3923.
- Industrial Aerodynamics*, Vol. 4, 1979, pp. 399-413
- [3] Goodarzi M., “A Proposed Stack Configuration for Dry Cooling Tower to Improve Cooling Efficiency under Crosswind”, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* Vol. 98, 2010, pp. 858-863.
- [4] Yau I. Y., “Design of Industrial Chimneys”, *Asia Engineer*, Vol. 12, 1995, pp. 23-27.
- [5] Alvarez J., Jones W. P., Seoud R., “Predictions of Momentum and Scalar Fields in a Jet in Cross Flow using First and Second order Turbulence Closures”, *AGARD Conference Proceedings 534, Computational and Experimental Assessment of Jets in Cross flow*, UK, 1993, Paper 24, pp. 1-10.
- [6] Meroney R. N., “Wind Tunnel and Numerical Simulation of Pollution Dispersion: a Hybrid Approach”, *Invited Lecture in Hong University of Science and Technology*, 6-10 December 2004.
- [7] Briggs G. A., *Plume Rise and Buoyancy Effects*, In: Randerson D. (Ed.), U.S. Dept. of Energy, DOE/TIC-27601, 1984.
- [8] Weil J. C., “Plume Rise”, In: Venkatram A., Wyngaard J. C. (Eds.), *Lectures on Air Pollution Modelling*, American Meteorological Society, Boston, 1988, pp. 119-166.
- [9] Contini D., Robins A., “Water Tank Measurements of Buoyant Plume Rise and Structure in Neutral