



مطالعه عددی تاثیر ساختمان آبخشان در مدت زمان تخلیه آب در سیستم اطفای حریق خشک

سعید وحیدی فر^{۱*}، محمد صادق فراهی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خيام، مشهد، ایران

چکیده

در سیستم اطفای حریق ساختمان‌های بزرگ در فصل زمستان جلوگیری از یخ‌زدگی آب داخل سیستم آبخشان موضوع مهمی است. بدین منظور از سیستم آبخشان لوله خشک استفاده می‌شود. در این روش به جای آب، هوا یا نیتروژن داخل سیستم بوده و در زمان حریق با ترکیدن بالب آبخشان ها افت فشار در سیستم ایجاد شده و آب با استفاده از سیستم پمپاژ آتش نشانی به داخل لوله ها تزریق و در حداقل زمان مطابق استاندارد باید به دورترین اسپرینکلر برسد. در حال حاضر اکثر سیستم لوله کشی ها سیستم خشک هنوز به صورت نیمه تجربی اجرا می‌شود. که در بسیاری از موارد مدت زمان تخلیه آب با استاندارد آتش نشانی همخوانی ندارد. لذا لازم است موضوع به لحاظ علمی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. در این مطالعه عددی به کمک نرم افزار انسیس فلونت با تغییر در ساختمان آبخشان و مجرای خروجی آب با زوایای متفاوت اقدام به بررسی مدت زمان تخلیه آب گردید. نتایج نشان می‌دهد که افزایش دبی جریان هوا و همچنین اضافه کردن زاویه همگرایی نازل مجرای خروجی آبخشان، موجب افزایش سرعت جریان هوا در خروجی نازل شده که این موضوع مدت زمان تخلیه هوا را کاهش داده و در نتیجه زمان رسیدن آب به خروجی دورترین آبخشان را کم می‌کند. نتایج نشان می‌دهد با تغییر زاویه همگرایی نازل به ۶۰ درجه و زاویه واگرایی ۱۵ درجه را به جای آبخشان مدل استاندارد ساخت شرکت تایکو، استفاده کنیم سرعت خروجی هوا از آبخشان تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی

آبخشان لوله خشک، نازل همگرا-واگرا، زاویه همگرایی- واگرایی، جریان مافوق صوت

Numerical Study of the Effect of Sprinkler Structure during Water Discharge in Dry Fire Fighting System

Saeed Vahidifar^{1*}, Mohammad Sadegh Farahi²

1- Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Thran, Iran

2- Master's student, Faculty of Mechanics and Energy, Khayyam University, Mashhad, Iran

Abstract

In the fire extinguishing system of large buildings in the winter season, preventing of the water from freezing inside the sprinkler system is an important issue. For this purpose, the dry pipe sprinkler system is being used. In this method, instead of water, there is air inside the system, and during a fire, a pressure drop is created when the sprinkler bulb bursts, and water is injected into the pipes by using the firefighting pumping system, and it must reach the most remote sprinkler in the minimum time. In this numerical study, by using of Ansys Fluent software, and changing the sprinkler structure and the water outlet nozzle with different angles, the duration of water discharge is investigated. The results show that adding the convergence angle of the nozzle of the sprinkler's outlet has increased the velocity of the air flow at the outlet of the nozzle, which has reduced the time for water to reach the the most remote sprinkler of the system is also reduced.

Keywords

Dry Pipe Sprinkler, Convergent-Divergent Nozzle, Convergence-Divergence Angle, Supersonic, Flow.

۱-مقدمه

عملکرد داشته باشند که بتوانند حریق را در لحظات اولیه کنترل نمایند، در این مورد داده‌های متعدد در اروپا و آمریکای شمالی وجود دارد [۶-۹]. سیستم اطفای حریق با هدف تخلیه آب و به هدف کاهش نرخ حریق و سرد کردن محیط با هدف کنترل حریق استفاده می‌شود [۱۰]. بررسی فرایند تخلیه آب توسط آفشان بر روی مواد قابل حریق توسط افراد مختلفی مورد بررسی شده است [۱۱-۱۲]. فرمول‌های تحلیلی مختلفی برای بررسی فرایند تخلیه آب توسط محققان ارائه شده است [۱۳].

در سال ۲۰۱۷ هاری کانگستی^۳ به بررسی عوامل مؤثر در بهبود و کاهش زمان شروع تخلیه آب از آفشان پرداخت. در این پژوهش مدل سازی سیستم هوا افشانه آب به عنوان یک سیستم دو فاز در نظر گرفته شده که به روش مدل‌های دو فاز لاکرانژی-ویلری و ویلری-ویلری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. او در این مطالعه، یک خط جریان که مسیر بین منبع آب و دورترین سری آفشان است را به صورت دقیق و بدون ساده سازی تحلیل کرده است [۱۴].

در سال ۲۰۱۳ والرئ. ام. پوپوف^۴ و همکارانش به بررسی مدل ریاضی سیستم ضد حریق لوله خشک با پیکربندی نوع درختی اقدام نمودند. آن‌ها در مطالعه خود برخی از فرآیندهای ناپایدار که پس از باز شدن آب پاش‌ها در سیستم وجود دارد که شامل تخلیه گاز به محیط، پر شدن مدار لوله کشی با مایع و تخلیه مایع از طریق آفشان‌ها می‌باشد، به طور کامل بررسی کردند. سپس آنها الگوریتمی برای فرمول سازی دینامیکی سیستم معادلات در مراحل مختلف پر شدن سیستم لوله کشی با مایع معرفی و در نهایت با حل عددی سیستم معادلات رفتار ناپایدار حرکت مایع در یک سیستم لوله کشی را گزارش کردند [۱۵].

سیستم‌های اطفای حریق آفشان از حدود ۱۲۰ سال پیش استفاده شده‌اند. از آن زمان تاکنون بیش از صدها میلیون آفشان در دنیا نصب و راه‌اندازی شده است و این آفشان‌ها هزاران ساختمان را از خطر آتش‌سوزی حفظ کرده و انسان‌های زیادی را از خطر مرگ و یا جراحت سوختگی نجات داده‌اند. آفشان‌ها یکی از بهترین وسایل کنترل حریق هستند. با هدف بررسی و ساخت آفشان‌ها، نخستین بار شخصی به نام آمبروس گادفری^۱ محفظه باروت را به شبکه آب متصل کرد تا هنگام بروز حریق، سوختن فتیله و انفجار باروت، آب شبکه تخلیه شده و حریق را خاموش کند [۱].

آفشان‌ها از جمله سیستم‌های اصلی سیستم اطفای حریق است [۲]. امروزه استفاده از سیستم‌های آفشان در حوزه‌های مختلف سیستم اطفای حریق رو به گسترش است [۳] معمولاً در زمان حریق نزدیک‌ترین آفشان به محل حریق عمل کرده و مقدار مشخصی آب از سیستم لوله‌کشی به محل حریق تخلیه می‌شود [۴].

در سال ۱۸۹۰ میلادی پس از گسترش سیستم‌های آفشان در آمریکا و برخی ناهماهنگی‌ها در زمینه یکپارچه سازی نحوه طراحی و اجرا و نصب آفشان‌ها، کارخانجات سازنده آفشان، شرکت‌های بیمه و سازمان‌های آتش نشانی به اتفاق یکدیگر موسسه ملی حفاظت در برابر آتش^۲ را تشکیل دادند که اولین مجموعه استاندارد تهیه شده با شماره NFPA ۱۳ به سیستم‌های آفشان اختصاص یافت که این مجموعه استاندارد، جامع‌ترین و کاملترین دستور العمل‌ها و نکات ایمنی کاربردی در زمینه انواع آفشان‌ها را شامل می‌شود [۵].

در واقع سیستم‌های اطفای حریق می‌توانند به‌گونه‌ای

^۱ Ambers Godferi

^۲ National Fire Protection Association

^۳ Harri Kangastie

معادلات مبنا برای جریان سیال تراکم پذیر (هوا) به صورت دویعدی و وابسته به زمان به شرح ذیل است:

معادله بقای جرم

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (6)$$

معادله بقای اندازه حرکت

برای جهت X داریم:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx} \quad (7)$$

برای جهت Y داریم:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My} \quad (8)$$

معادله بقای انرژی

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i u) = -\hat{\phi} \text{div } \mathbf{u} + \text{div}(k \text{grad } T) + \phi + S_i \quad (9)$$

۴- شبکه بندی و اعتبار سنجی میدان حل

۴-۱- مدل استفاده شده برای جریان هوا در نازل

مدلی که برای حل میدان جریان در این مطالعه استفاده شده به صورت تک‌فازی است، با توجه به شرایط جریان و تاثیر کم لزجت در این مسئله مدل جریان غیر لزج می‌باشد. این مدل می‌تواند برای تحلیل‌های آئرو دینامیکی پرتابه‌های پرسرعت و همچنین سایر مواردی که در آنها نازل همگرا و اگر استفاده شود. در این پژوهش، شبیه‌سازی جریان با استفاده از حلگر مبتنی بر چگالی انجام شده است. با توجه به اینکه تغییرات چگالی، فشار و سرعت در این گونه نازل‌ها بسیار بالا بوده و موجب تغییرات در دمای جریان سیال می‌گردد، معادله انرژی نیز همراه با معادلات اندازه حرکت و پیوستگی حل می‌گردد. با توجه به اینکه حجم هوای موجود در داخل شبکه لوله

این معادله برای انبساط آیزنتروپیک گاز است، که معادل انبساط آیزنتروپیک است [۱۱]:

$$\frac{dp}{dt} = -\dot{m} \frac{R T_{initial}}{V} \gamma \left(\frac{p}{p_{initial}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (3)$$

۳-۱-۴- معادلات فشار گاز در شبکه لوله

در این پژوهش مقدار گاز محصور شده در طول فرایند تخلیه و تراکم سازی ثابت می‌ماند همچنین pV برای حالت تراکم آیزوترمال ثابت بوده و pV^γ برای تراکم آیزنتروپیک هم ثابت است [۱۷]. دلیل اینکه هوا دما ثابت فرض شود این موضوع است که زمانی که آیفشان عمل کرده و تزریق آب انجام می‌شود و هوا به آهستگی متراکم شده (به دلیل گستردگی شبکه لوله کشی) و همچنین همزمان می‌تواند با محیط می‌تواند تبادل حرارت انجام دهد.

برای حالت تراکم آیزوترمال:

بنابراین برای حالت اول یعنی تراکم دما ثابت معادله زیر را داریم [۱۷]:

$$p V_{initial} = p V \quad (4)$$

برای حالت تراکم آیزنتروپیک:

بنابراین برای حالت دوم یعنی تراکم آیزنتروپیک معادله زیر را داریم [۱۴]:

$$p = p_{initial} \left(\frac{V_{initial}}{V} \right)^\gamma \quad (5)$$

زیر نویس‌های اولیه، شرایط زمانی را بیان می‌کند که هوا توسط آب در لوله شاخه متراکم شده است. در هنگام انتقال آب، این معادلات باید به طور مداوم برای هر یک از لوله‌های شاخه که در آنها هوا متراکم است، حل شوند.

۳-۲- معادلات حاکم بر میدان جریان سیال

جدول ۱- مقایسه نتایج عددی و تحلیلی با هدف اعتبارسنجی

پارامترها موضوع	دمای استاتیک جریان در گلویی نازل	سرعت جریان در گلویی نازل	عدد ماخ جریان در گلویی نازل	دمای استاتیک جریان در نازل	سرعت جریان در نازل	عدد ماخ جریان در نازل
نتایج حاصل از روش عددی	۲۵۰ کلوین	۳۱۳ متر بر ثانیه	۱	۱۱۸ کلوین	۶۰۷ متر بر ثانیه	۲/۷۹
نتایج حاصل از روش تحلیلی	۲۵۰ کلوین	۳۱۶ متر بر ثانیه	۱	۱۲۷ کلوین	۵۸۸ متر بر ثانیه	۲/۵۹
میزان انحراف	۰	۰/۹۴ %	۰	۷/۱ %	۳/۲۳ %	۷/۷۲ %

در مقایسه با حجم هوای خروجی از دهانه آبفشان به مراتب زیادتر بوده و هیچ‌گونه شرایطی برای غیر پایا بودن جریان هوای داخل شبکه لوله وجود ندارد، لذا جریان را می‌توانیم با تقریب خوبی، به صورت شبه پایا در نظر بگیریم.

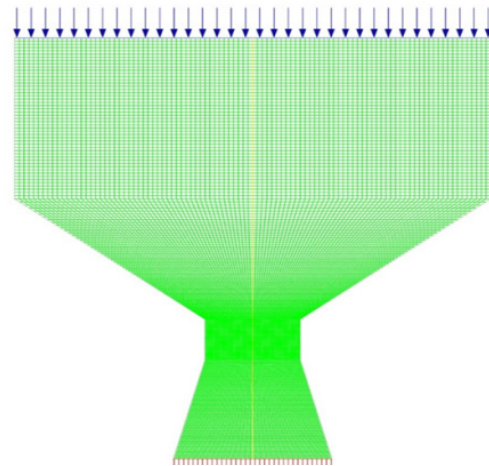
۲-۴ - شبکه بندی

ابتدا هندسه مورد نظر بر اساس نازل با زاویه همگرایی ۶۰ و واگرایی ۱۵ درجه رسم شد سپس به دلیل وجود تقارن، نیمی از فضای داخلی نازل با استفاده از شبکه مربعی به تعداد ۱۱۲۷۱ سلول، شبکه‌بندی شد. با توجه به اینکه در بخش نزدیک به دیواره و ورودی و خروجی نازل همگرا-واگرا تغییرات مشخصات جریان زیاد است یا هدف کاهش خطا و افزایش دقت جواب‌ها شبکه‌بندی در این بخش ریزتر انتخاب شده است. این موضوع در شکل ۳ انحراف قابل قبول خواهد بود.

۵- استقلال از مش و شرایط مرزی

۵-۱- استقلال از شبکه

پس از اعتبارسنجی عملکرد نرم‌افزار فلونت به بررسی استقلال از شبکه پرداخته می‌شود. در بهترین مش‌بندی استفاده شده ۹۲۳۱ گره یا سلول داریم که به ازای تغییر شبکه بندی از ۷۲۰۰ گره تا ۱۴۰۰۰ گره به دست آمده است. در زیر شبکه بهینه و یک نمونه از شبکه های مورد استفاده در زاویه همگرایی ۳۰ درجه و واگرایی ۱۵ درجه با دو شبکه بندی متفاوت که اولی با ۹۲۳۱ سلول و دومی با ۱۲۸۰۱ سلول می‌باشند و جواب های خوبی داشته آمده است:



شکل ۳- شبکه و هندسه مورد مطالعه (اولیه)

۳-۴ - اعتبار سنجی

برای بررسی صحت جواب‌های حاصل از روش عددی این جواب‌ها با نتایج روش تحلیلی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

در جدول شماره ۲ شرایط مرزی اعمال شده بر میدان حل و منطبق بر شکل ۵ به صورت زیر است.

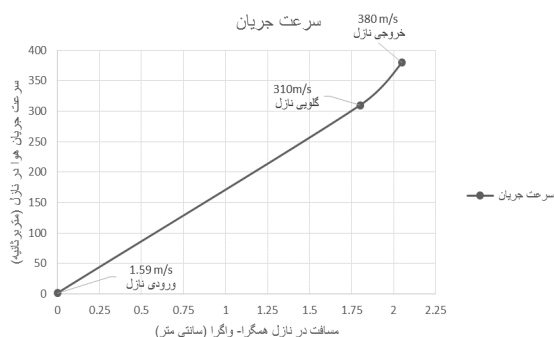
جدول ۲- شرایط مرزی میدان حل جریان

نوع شرط	موقعیت
دبی جرمی ورودی (۰.۰۰۶۳ کیلوگرم بر ثانیه)	۱
خروجی فشار نسبی (P=0)	۲
دیواره ساکن (U=0)	۳
دیواره متقارن	۴

۶- بررسی نتایج

۱-۶ نازل آیفشان مدل تایکو اولیه

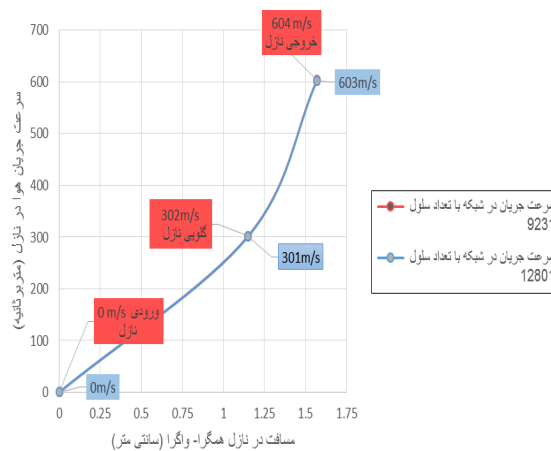
بر اساس نمودار زیر سرعت خروجی هوا از آیفشان اصلی طرح تایکو مدل TY3631 (مدل اولیه) به ۳۸۰ متر بر ثانیه می‌رسد. که با تغییرات دبی جرمی و مقادیر زوایای همگرایی و واگرایی نازل در ادامه این تحقیق به دنبال افزایش سرعت خروج هوا از شبکه لوله از مسیر نازل آیفشان هستیم تا بتوانیم مدت زمان تخلیه هوا و جایگزینی آب را کاهش دهیم



شکل ۶- نمودار تغییرات سرعت جریان هوا از ورودی تا خروجی آیفشان مدل TY3631

۲-۶ نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۶۰ و واگرایی ۱۵ درجه

بر اساس کانتور نشان داده شده در شکل زیر، سرعت جریان هوا از مقدار صفر متر بر ثانیه در بخش ورودی نازل آیفشان به سرعت ۳۱۳ متر بر ثانیه در بخش میانی گلوبی افزایش می‌یابد. و سپس این سرعت با شیب بیشتری در بخش واگرایی نازل (که طول مسیر بسیار کمتری از بخش همگرایی نازل دارد) افزایش یافته و به مقدار ۶۰۷ متر بر

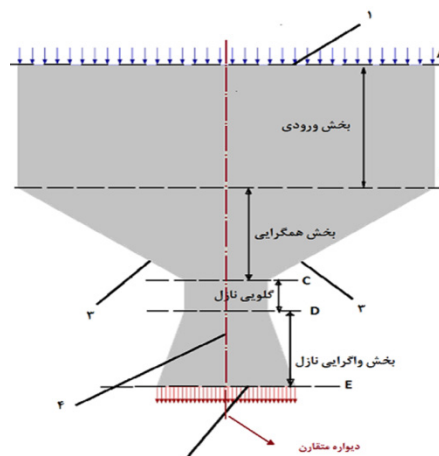


شکل ۴- نمودار مقایسه مقادیر سرعت در نازل آیفشان با دو تعداد سلول مختلف شبکه

با توجه به منحنی نشان داده شده‌ی فوق، مشخص می‌شود که شبکه انتخاب شده با تغییر تعداد سلول دارای نتایج مشابه و تقریباً یکسان در زمینه‌ی سرعت جریان هوا در بخش گلوبی نازل و همچنین در خروجی هوا از آیفشان می‌باشد. لذا شبکه انتخاب شده با تعداد سلول ۹۲۳۱ به عنوان معیار برای ادامه حل و بررسی موارد مدنظر انتخاب می‌گردد.

۲-۵ شرایط مرزی

همچنین شرایط مرزی مطابق جدول ۱ در نرم افزار وارد گردید. همچنین موقعیت شرایط مرزی مطابق شکل ۵ می‌باشد.

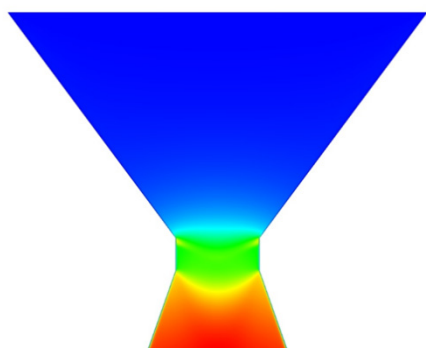
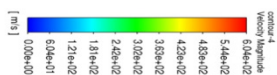


شکل ۵- هندسه مورد بررسی با شرایط مرزی

ثانیه در خروجی نازل می‌رسد

۴-۶- نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۳۰ و واگرایی ۱۵ درجه

بر اساس کانتور زیر سرعت خروجی هوا از این آیفشان به ۶۰۴ متر بر ثانیه می‌رسد که نسبت طرح اصلی آیفشان تایکو افزایش قابل توجهی پیدا کرده است و با افزایش حدود ۵۸ درصد به ۶۰۴ متر بر ثانیه می‌رسد



شکل ۹- کانتور سرعت جریان هوا در نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۳۰ درجه و واگرایی ۱۵ درجه

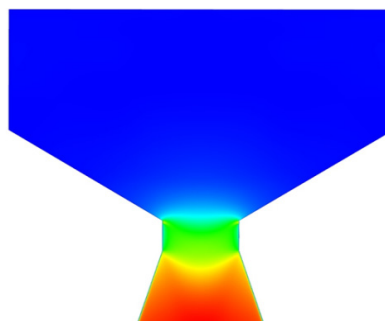
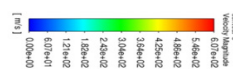
لیکن کاهش زاویه همگرایی از ۶۰ و یا ۴۵ درجه به ۳۰ درجه تغییر محسوسی در مقدار سرعت خروجی هوا از آیفشان ایجاد نکرده است.

۵-۶- دما

موضوع بسیار مهم در مورد دما این مسئله است که در شرایط واقعی با توجه به حضور سیال آب (جریان دو فازی) امکان تشکیل ذرات یخ به دلیل دمای کم در خروجی نازل وجود دارد لذا حل معادله انرژی لازم به نظر می‌رسد.

۶-۶- نازل آیفشان مدل تایکو اولیه

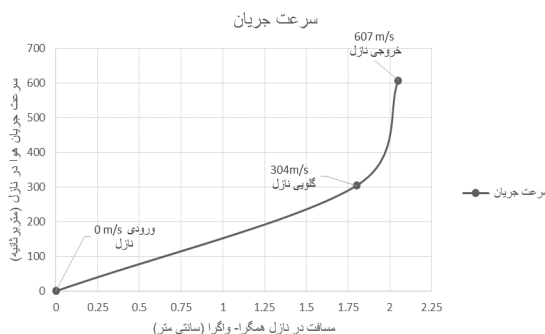
در شکل ۱۰ کانتور بیانگر افت دمای استاتیک جریان هوا از ۳۰۰ درجه کلین در ورودی نازل به ۲۲۵ درجه کلین در خروجی از آیفشان است که این انرژی حرارتی



شکل ۷- کانتور سرعت جریان هوا در نازل همگرا- واگرای آیفشان با زاویه همگرایی ۶۰ درجه و واگرایی ۱۵ درجه

۳-۶- نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۴۵ و واگرایی ۱۵ درجه

بر اساس نمودار زیر سرعت جریان در بخش میانی گلوبی نازل برابر ۳۰۴ متر بر ثانیه بوده که در مقایسه با نازل ۱۵/۶۰ درجه کمتر است. سرعت خروجی هوا از این آیفشان به ۶۰۷ متر بر ثانیه می‌رسد که برابر سرعت خروجی هوا در نازل ۱۵/۶۰ است که نسبت به طرح اصلی آیفشان تایکو افزایش قابل توجهی به میزان ۶۰٪ پیدا کرده است



شکل ۸- نمودار تغییرات سرعت جریان هوا از ورودی تا خروجی آیفشان با زاویه همگرایی ۴۵ درجه و واگرایی ۱۵ درجه

بیشترین نرخ افزایش سرعت نسبت به سایر نازل‌ها در بخش واگرای نازل این آیفشان اتفاق می‌افتد.

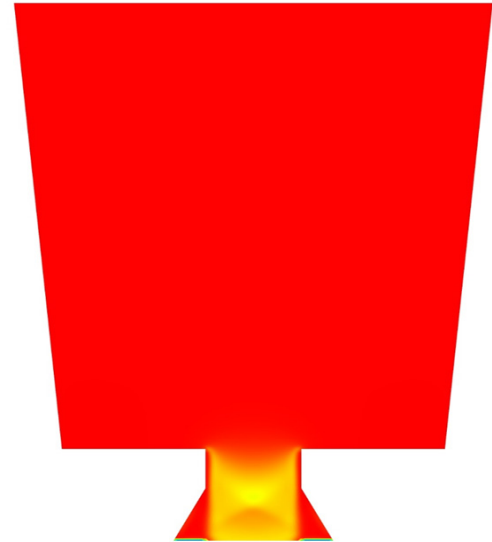
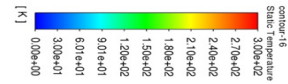
لیکن کاهش زاویه همگرایی از ۶۰ درجه به ۴۵ درجه تغییری در مقدار سرعت خروجی هوا از آیفشان ایجاد نکرده است.

شکل ۱۱- کانتور دمای استاتیک جریان هوا در نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۶۰ و واگرایی ۱۵ درجه

کاهش یافته تبدیل به افزایش انرژی جنبشی و افزایش سرعت هوا در خروجی آیفشان شده است.

۶-۸- نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۴۵ و واگرایی ۱۵ درجه

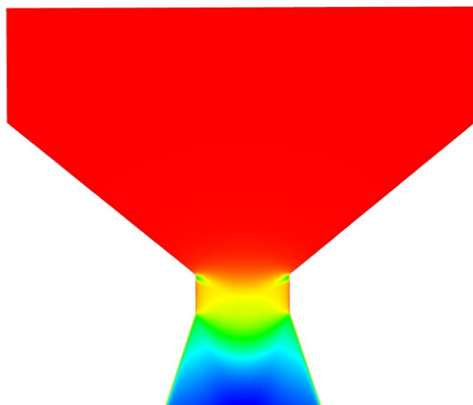
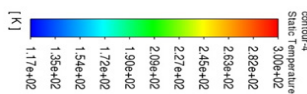
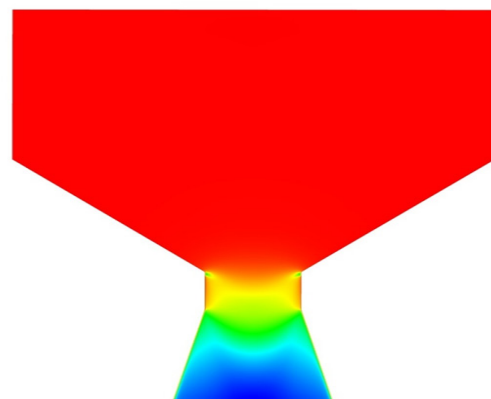
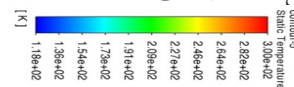
کانتور زیر در شکل ۱۲ بیانگر افت دمای استاتیک جریان هوا از ۳۰۰ درجه کلوین در ورودی نازل به ۱۱۷ درجه کلوین در خروجی از آیفشان است که این انرژی حرارتی کاهش یافته در مقایسه با سایر طرح های نازل آیفشان موجب افزایش بیشتر انرژی جنبشی و سرعت هوا در خروجی آیفشان شده است



شکل ۱۰- کانتور دمای استاتیک جریان هوا در نازل همگرا- واگرای آیفشان مدل TY۳۶۳۱

۶-۷- نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۶۰ و واگرایی ۱۵ درجه

شکل ۱۱ بیانگر افت دمای استاتیک جریان هوا از ۳۰۰ درجه کلوین در ورودی نازل به ۱۱۸ درجه کلوین در خروجی از آیفشان است که این انرژی حرارتی بیشتر کاهش یافته در مقایسه با سایر طرح های نازل آیفشان موجب افزایش بیشتر انرژی جنبشی و سرعت هوا در خروجی آیفشان شده است

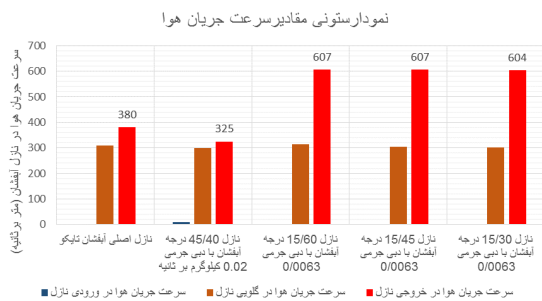


شکل ۱۲- کانتور دمای استاتیک جریان هوا در نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۴۵ درجه و واگرایی ۱۵ درجه

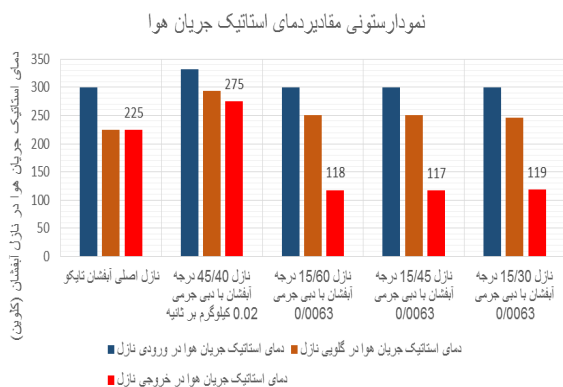
۶-۹- نازل آیفشان با زاویه همگرایی ۳۰ و واگرایی ۱۵ درجه

شکل ۱۳ بیانگر افت دمای استاتیک جریان هوا از ۳۰۰ درجه کلوین در ورودی نازل به ۱۱۹ درجه کلوین در خروجی از آیفشان است که این انرژی حرارتی کاهش یافته در مقایسه با سایر طرح های نازل آیفشان موجب افزایش بیشتر انرژی جنبشی و سرعت هوا در خروجی آیفشان شده است.

تاثیر زاویه همگرایی نسبت به واگرایی بسیار بیشتر است. ۴- با افزایش سرعت و کاهش زمان تخلیه، دمای استاتیک جریان هوای خروجی کاهش می‌یابد.



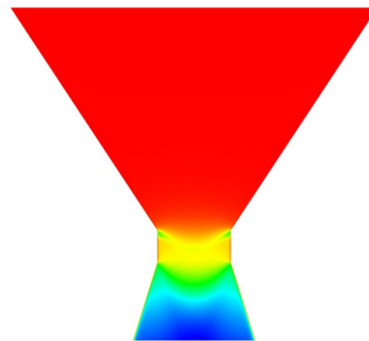
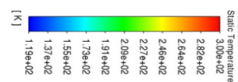
شکل ۱۴- نمودار ستونی مقایسه‌ای مقادیر سرعت جریان هوا در انواع نازل آبفشان



شکل ۱۵- نمودار ستونی مقایسه‌ای مقادیر دمای استاتیک جریان هوا در انواع نازل آبفشان

۸- فهرست علائم

عنوان	علائم یونانی	واحد
چگالی	ρ	kg/m^3
نسبت گرمای ویژه	$\tilde{\alpha}$	-
سرعت صوت	α	m/s
لزجت		Pa.s
تلفات لزجت		W/m^3
سرعت در جهت X		m/s
سرعت در جهت Y		m/s



شکل ۱۳- کانتور دمای استاتیک جریان هوا در نازل آبفشان با زاویه همگرایی ۳۰ درجه و واگرایی ۱۵ درجه

۷- نتیجه گیری

با بررسی جواب‌ها و جمع‌بندی نتایج و بررسی اشکال ۱۴ و ۱۵ می‌توان با نتایج زیر رسید
 ۱- براساس نمودار ستونی مقایسه سرعت جریان هوا در نازل همگرا- واگرای با مقادیر پنج‌گانه زوایای همگرایی- واگرایی مشاهده می‌شود که سرعت خروجی جریان هوا از آبفشان مدل اصلی تایکو برابر ۳۸۰ متر بر ثانیه بوده و برای آبفشان دارای نازل با زاویه همگرایی ۶۰ درجه و واگرایی ۱۵ درجه برابر ۶۰۷ متر بر ثانیه می‌شود. بنابراین با بهینه سازی مقادیر این زوایا، سرعت خروجی هوا از شبکه آبفشان خشک را اضافه نموده و زمان رسیدن آب درون شبکه به خروجی آبفشان را کاهش داد که این امر موجب تسریع در عملیات اطفاء حریق و کاهش خسارت ناشی از آتش سوزی می‌گردد.

۲- میزان زمان تخلیه هوا در آبفشان با نازل زاویه همگرایی ۶۰ درجه و واگرایی ۱۵ درجه در مقایسه با آبفشان مدل اصلی تایکو به میزان ۳۷٪ کاهش می‌یابد.

۳- با توجه به انتخاب زاویه واگرایی ۱۵ درجه و تغییرات چند گانه در انتخاب زوایای همگرایی مشخص شد، افزایش مقدار زاویه همگرایی از حدود ۵ درجه در آبفشان مدل تایکو به ۶۰ درجه موجب افزایش قابل توجه سرعت خروجی جریان هوا از آبفشان می‌شود؛ بنابراین

an analysis from fire service data, May, 2017, 09.02.2018.

[7] Marty, Ahrens, U.S. Experience with Sprinklers: Report, May 2017, P. 35.

[8] Daniel, Malm, A. Pettersson, Reliability of Automatic Sprinkler Systems – an Analysis of Available Statistics: Report, Department of Fire Safety Engineering and Systems and Systems Safety, Lund University, Lund, 2008, p. 48.

[9] Alexander.A. Poroshin, Vladimir.V. Kharin, Andrey.A. Kondashov, Evgeny .V. Bobrinev, Elena.Yu. Udavtsova, the application of singularity theory for the analysis of the fire situation in the russian federation, Scientific-Technical journal, 2019, P. 42-49.

[10] Xiangyang Zhou n, Hong-ZengYu ,Experimental investigation of spray formation as affected by sprinkler geometry, Fire Safety Journal, april ,2011, P140–150.

[11] Kevin.B. McGrattan, G.P. Forney, Fire Dynamics Simulator (Version 4), Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, March 12, 2006.

[12] Soonil Nam, Development of a computational model simulating the interaction between a fire plume and a sprinkler spray, Fire Safety Journal, 1996,p 1–33.

[13] Ning. Ren, Andre.W. Marshall, Howard. Baum, A comprehensive methodology for characterizing sprinkler sprays, Presented at the 33rd International Symposium on Combustion, Beijing, China, 2010.

[14] Harri Kangasäe, Calculation of Water Delivery Time in Dry Pipe Sprinkler Systems, Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology, University Lecturer Seppo Syrjäälä, 2017.

[15] Valery M. Popov, Valery A. Babenko, Andrey I. Bril, Vitaly P. Kabashnikov, Valeri Mourachko, Leonid Nikolaychik, Numeric simulation of non-steady flow of liquid in dry pipe fire protection systems of tree type topology, Applied Mathematical modeling, Modeling: 2013, P. 6276-6283.

[16] Tyco Series TY-FRB – 5.6 and 8.0 K-factor Conventional (Old Style) Sprinklers Quick Response, Available: www.tyco-fire.com

[17] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Thermodynamics an engineering approach, Seventh edition in SI units, Mc Graw Hill, 2011, p 978.

علائم انگلیسی

Kj/Kg.k	ثابت گازها	R
K	دما	T
N/m ²	فشار	P
m ³	حجم	V
W/m.k	ضریب هدایت گرمایی	K
Kg/s	دبی جرمی هوا	
m/s	سرعت جهت x	u
m/s	سرعت جهت y	v
s	زمان	t
N/m ³	ترم نیروی حجمی	S
W/m ³	ترم چشمه حرارتی	s
m	جهت x	x
m	جهت y	y
m ²	مساحت	A

زیرنویس

گلوبی	t
هوا	a
جو	∞
اولیه	i
دمای اولیه	O
نیروی جسمی جهت x	M _x
نیروی جسمی جهت y	M _y

۹- مراجع

[1] Incendia Consulting, A History of sprinkler development, Cited 12.12.2016.

[2] Shehu Abdulrahman1, Khaled Chetehouna , Axel Cable', Yvind Skreiberg and Maurice Kadoche, A review on fire suppression by fire sprinklers, Journal Of Fire Science, April 2021, DOI: 10.1177/07349041211013698

[3] Kamluk Andrei, Likhomanov Alexey, Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler Geometry, Fire Safety Journal , 2019.

[4] Paolo Ruffino, Marino diMarzo, The simulation of fire sprinklers thermal response in presence of water droplets, Fire Safety Journal, 2004, P. 721–736.

[5] NFPA13, National Fire Protection Association standard, edition 2019.

[6] Mark Hardingham, Terry McDermott, Efficiency and effectiveness of sprinkler systems in the United Kingdom: