نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۲، تابستان۱۴۰۱، ص: ۲۱- ۳۲

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 2, 2022: 21-32

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9

شبیه‌سازی عددی حریق در پارکینگ یک مجتمع تجاری و تاثیر تهویه بر غلظت دود و قابلیت دید با نرم‌افزار پایروسیم

فاطمه بهبهانی[۱*]، مهدی حمزه‌ای [۲]، زهرا مهردوست [۳]، محمد مقیمان [۴]

*۱- دانشجودکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران،
dr.fatemeh.behbahani@gmail.com
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، Mahdi_Hamzei@ iauahvaz.ac.ir
۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، z_mehrdoost@yahoo.com
۴- استاد تمام، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران moghiman@ferdowsi.um.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

چکیده

یکی از خطراتی که همواره ساختمان‌ها را تهدید می‌کند، خطر حریق می‌باشد. پس از وقوع حریق، دود تولید می‌شود. در بیشتر موارد دود ایجاد شده در اثر حریق به مراتب خطر بیشتری نسبت به آتش، برای جان افراد به دنبال دارد. بنابراین با کنترل دود می‌توان از ساختمان و افراد ساکن در آن محافظت کرد و خسارت‌های ناشی از حریق را کاهش داد. در این پژوهش پخش دود در پارکینگ یک مجتمع با استفاده از نرم‌افزار پایروسیم، مورد بررسی قرار گرفت. برای حل از معادلات ناویراستوکس، انرژی، بقاء جرم و برای آشفتگی از مدل شبیه‌سازی گردابه-های بزرگ استفاده شد. دو سناریو برای بررسی حریق در نظر گرفته شد. در سناریوی اول پارکینگ بدون سیستم تهویه و در سناریوی دوم همراه با سیستم تهویه مورد مطالعه قرار گرفت. از اگزاست فن برای تخلیه دود و از ساپلای فن برای تامین هوای تازه استفاده شد. نتایج این دو شبیه‌سازی با یکدیگر مقایسه شد. قدرت حریق مورد بررسی ۴ مگاوات بود. نتایج نشان داد در سناریوی اول میزان غلظت دود ۰/۰۰۳ مول بر مول و قابلیت دید ۲ متر می‌باشد. در سناریوی دوم میزان غلظت دود ۰/۰۰۰۲ مول بر مول می‌شود که نسبت به سناریوی اول ۹۳٪ بهبود یافت. هم‌چنین قابلیت دید در ابتدا به ۲ متر کاهش یافت و سپس با فعال شدن اگزاست فن و تخلیه دود در زمان ۶۰۰ ثانیه به ۲۰ متر افزایش یافت. در واقع قابلیت دید نسبت به سناریوی اول ۹۰۰٪ بهبود یافت. به این ترتیب، کاهش غلظت دود و افزایش قابلیت دید موجب تخلیه آسان‌تر افراد در هنگام حریق می‌شود.

* **عهده‌دار مکاتبات:** dr.fatemeh.behbahani@gmail.com

کلمات کلیدی: حریق، کنترل دود، نرم‌افزار پایروسیم، گردابه‌های بزرگ، قابلیت دید.

۱- مقدمه

ماشین‌ها بخش بزرگی از زندگی روزمره ما را تشکیل داده‌اند. به همین دلیل پارکینگ‌ها به‌ویژه در ساختمان‌های بزرگ، محلی با تقاضای فراوان می‌باشد [1]. بنا به توسعه شهری و فضای محدود، ساخت پارکینگ‌ها در مجتمع‌های تجاری و مسکونی رواج

نحوه استناد به این مقاله: فاطمه بهبهانی، مهدی حمزه‌ای، زهرا مهردوست، محمد مقیمان. شبیه‌سازی عددی حریق در پارکینگ یک مجتمع تجاری و تاثیر تهویه بر غلظت دود و قابلیت دید با نرم‌افزار پایروسیم. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۲) : ۳۲-۲۱. **DOR:** 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

یافته است. اگزوز ماشین حاوی چندین گاز خطرناک از جمله کربن مونوکسید می‌باشد. در پارکینگ‌ها در اثر گازهای خروجی از اگزوز خودروها، هوا به‌شدت آلوده می‌شود [2]. اگر در این پارکینگ‌ها حریق اتفاق بیفتد علاوه بر گازهای سمی حاصل از وسایل نقلیه، دود ناشی از حریق که شامل گازهای سمی هم‌چون کربن مونوکسید است موجب تلفات انسانی می‌گردد. به همین دلیل بررسی حریق در پارکینگ‌ها و شبیه‌سازی دود بسیار اهمیت دارد. هدف از شبیه‌سازی حریق، حفظ ایمنی ساکنین به منظور جلوگیری از تلفات، در زمان حریق می‌باشد. احتراق علاوه بر گرما و دود، گازهایی نیز تولید می‌کند. حجم گازهای داغ در یک فضای بسته به سرعت بالا رفته و تمام اتاق را پر می‌کنند. اثرات بلند مدت ناشی از قرار گرفتن در معرض دود و حرارت بر بدن انسان مسئله بسیار مهمی است[3].

جندقی و امیری نژاد و همکارانشان [4] در سال ۱۳۹۵ در یک پارکینگ بزرگ بسته به بررسی تأثیر سیستم کنترل دود و حرارت به‌وسیله سیستم‌های تهویه مکانیکی پرداختند. آنان یک محفظه از جنس سبک ساختند که به عنوان پارکینگ استفاده شود. شکل هندسی پارکینگ مستطیلی بود. آنها به این نتیجه رسیدند که حرارت آزادشده، به‌طور مستقیم تمام مقادیر دمایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما تأثیر آن بر روی الگوی دود خیلی قوی نیست. تأثیر نرخ تخلیه بر روی الگوی دود بسیار قویتر از تأثیر حرارت آزادشده می‌باشد.

ژئو و همکاران [5] تأثیر مکان قرارگیری فن نسبت به منبع آتش را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که فاصله بین فن و منبع آتش باید در رنج مشخصی باشد تا کاهش دما در بهینه‌ترین حالت اتفاق بیوفتد. لئو و همکاران [6] در پژوهشی سیستم کنترل دود در یک پارکینگ زیرزمینی را بررسی کردند. آنها با کمک نرم‌افزار پایروسیم به تجزیه و تحلیلی در ارتباط با پارامترهای مهم از قبیل تعداد جت‌فن‌ها، ظرفیت جت‌فن‌ها، میزان استخراج دود در موقع آتش‌سوزی و مقایسه جت فن با سیستم تهویه سنتی(داکتی) پرداخته‌اند. آنان به این نتیجه رسیدند که سرعت بالای جت‌فن باعث ایجاد دود بیشتری می‌شود، پس انتخاب جت‌فنی با سرعت مناسب بسیار اهمیت دارد. هم‌چنین جت‌فن باعث پخش دود می‌شود اما غلظت دود کمتر است و افراد داخل پارکینگ دید قابل قبولی دارند.

تونی [7] با استفاده از نرم‌افزار پایروسیم اثر جت‌فن بر فعال‌سازی اسپرینکلر را بررسی کرده است. با فعال‌شدن جت‌فن، دما پایین می‌آید و باعث می‌شود اسپرینکلرها دیرتر فعال شوند.

دکرز و همکارانش[8]، با شبیه‌سازی کنترل دود در یک پارکینگ اثر سرعت تهویه را بررسی کردند. نتایج بیانگر این نکته بود که افزایش سرعت تهویه از یک مقدار مشخص، کمکی به تخلیه دود نمی‌کند، بلکه آتش را گسترش داده و میزان تولید دود را بیشتر می‌کند. ژانگ و همکارانش [9]، جریان القایی آتش داخل فضای یک اتاق بسته را به روش LES با مدل زیرشبکه اسماگورینسکی مدل کردند و مشخصه‌های اغتشاشی جریان را محاسبه کردند. مقایسه نتایج حاصل با نتایج تجربی نشان داد که ضعف این مدل در پیش‌بینی دما و مشخصه‌های اغتشاشی است و این خطا در نزدیکی سقف و با نزدیک شدن به مرز جامد افزایش می‌یابد. وای چن و همکاران [10]، میزان هوای لازم جهت خروج دود از یک کانال را با کمک نرم‌افزار پایروسیم بررسی کردند. آنها از شبیه‌سازی‌های انجام شده، نتیجه گرفتند زمانی که میزان دود خروجی نسبت به هوای ورودی۳۸٪ بیشتر باشد، خروج دود بهتر انجام می‌گیرد.

در این پژوهش تاثیر سیستم تهویه بر روی انتشار دود و قابلیت دید در پارکینگ بررسی شد. قابلیت دید یا میزان دید، پارامتری مهم در هنگام وقوع حریق است. این پارامتر مشخص کننده میزان فاصله قابل مشاهده برای شخص گیر افتاده در حریق می‌باشد که در پژوهش‌های پیشین تاثیر سیستم تهویه بر این پارامتر مورد بررسی قرار نگرفت.

۲- معادلات حاکم

پایروسیم یک رابط گرافیکی برای شبیه‌سازی دینامیک آتش می‌باشد. شبیه‌ساز دینامیک آتش، حالات مختلف آتش‌سوزی را با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی شامل حل عددی از معادلات ناویراستوکس در جریان هدایت حرارتی و کم سرعت با

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

تمرکز بر روی ویژگی‌های انتقال دود و حرارت ناشی از حریق را شبیه‌سازی می‌کند. نرم‌افزار از معادلات حاکم زیر استفاده می‌کند [10]:

- بقای جرم

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla . \rho \vec{u} = \dot{m}_b'''$$ (۱)

- بقای اندازه حرکت

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{u}) + \nabla . \rho uu = \rho \vec{g} - \nabla \vec{p} + \nabla . \overrightarrow{\tau_{ij}}$$ (۲)

- پایستاری جرم

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla . \rho hu = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla . \dot{q}'' + \varepsilon$$ (۳)

- معادله حالت گاز کامل

$$p = \frac{\rho RT}{M}$$ (۴)

- آنتالپی: آنتالپی بر اساس دما طبق رابطه زیر بدست می‌آید [10]:

$$h = \int_{T_0}^{T} C_p\,(T) dT$$ (۵)

شبیه‌سازی حریق در نرم‌افزار از طریق روش گردابه‌های بزرگ برای جریان آشفته محاسبه می‌شود. برای بدست آوردن نتایج مناسب حریق می‌بایست شبکه‌ی محاسباتی ابعاد قابل قبولی داشته باشد. برای استقلال حل از شبکه، می‌بایست طول مشخصه بدست آید. رابطه‌ی زیر برای طول مشخصه به کار می‌رود [10]:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty C_p T_\infty \sqrt{g}}\right)^{0.4}$$ (۶)

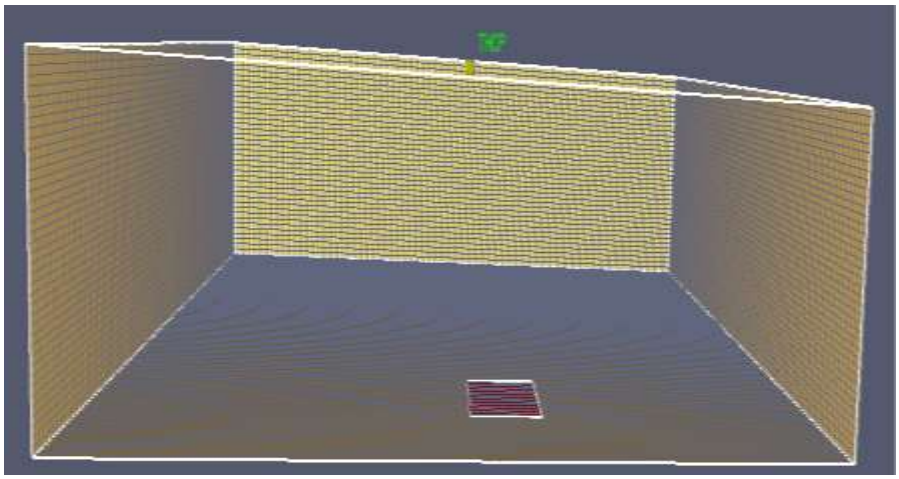
با مدل‌کردن حریق، می‌توان دما، فشار، سرعت و ترکیبات شیمیایی در هر سلول را برای گام‌های زمانی کوچک محاسبه کرد. معمولا در هر تکرار میلیون‌ها سلول وجود دارد.

۳- شبیه‌سازی

۳-۱- اعتبارسنجی

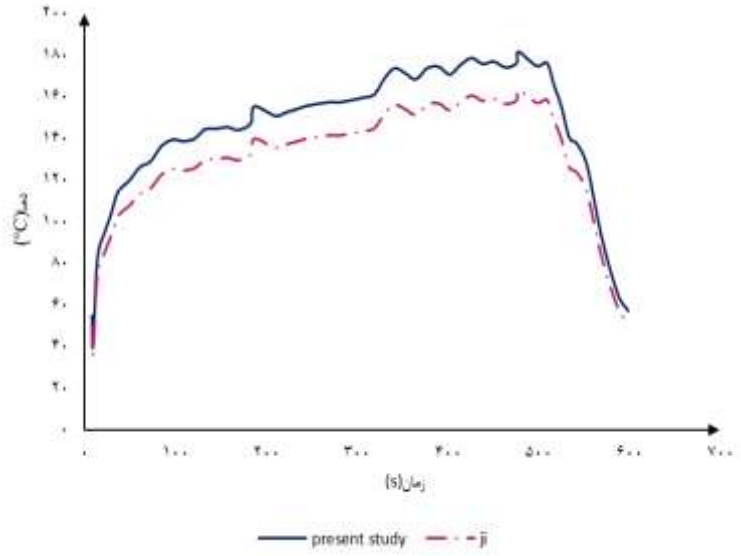
به منظور بررسی صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نتایج حل عددی بدست آمده از نرم‌افزار پایروسیم، با نتایج آزمایشگاهی جی [11]، مقایسه گردید. در پژوهش جی، هندسه‌ای با ابعاد ۱/۵*۲*۰/۵ متر در نظر گرفته شده است. سوخت استفاده شده در محفظه متان و سطح منبع حریق ۰/۲*۰/۲ و مقدار حرارت آزاد شده ۲۳۵ کیلووات بر متر مربع بود. با توجه به داده‌های پژوهش جی، شبیه‌سازی انجام شد و با نتایج داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شد. هندسه مورد استفاده در اعتبارسنجی در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]



شکل ۱: هندسه شبیه‌سازی شده جهت اعتبارسنجی نتایج

برای مقایسه نتایج پروفیل دما، محاسبات برای حریق تا۶۰۰ ثانیه انجام شد و با نتایج مقاله جی مقایسه گردید. پروفیل دما در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، مشاهده شد که مقادیر دمای شبیه‌سازی شده به مقادیر دمای آزمایشگاهی نزدیک می‌باشند و ۱۰/۶ درصد خطا نسبت به مقایر آزمایشگاهی دارند.



شکل۲: مقایسه پروفیل دما در پژوهش حاضر و مقاله جی[11]

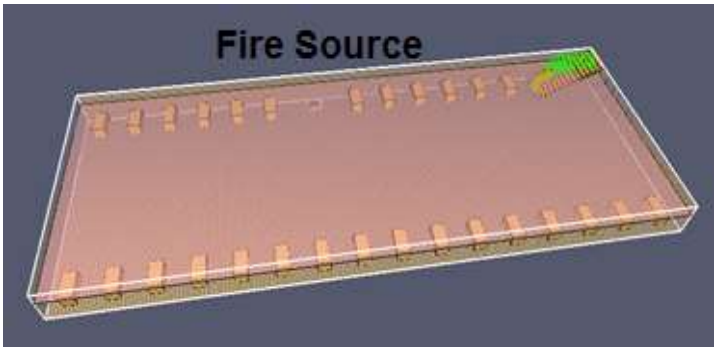
۳-۲- هندسه مورد بررسی

در این پژوهش پارکینگ یک مجتمع تجاری مورد بررسی قرار گرفت. در این پارکینگ تهویه به صورت سنتی از طریق کانال‌ها صورت می‌گیرد. برای بررسی تاثیر سیستم تهویه بر انتشار دود و قابلیت دید دو حالت بدون سیستم تهویه و همراه با سیستم تهویه با یکدیگر مقایسه شدند. فضای مورد بررسی در این پارکینگ دارای ابعادی به اندازه ۳*۱۹*۴۸ متر می‌باشد. هندسه پارکینگ مورد نظر در نرم‌افزار پایروسیم رسم شد. هندسه مورد نظر در شکل ۳ نشان داده شده است. در قسمت شرقی پارکینگ راه‌پله خروجی وجود دارد. بررسی راه‌پله به دلیل خروج افراد در هنگام حریق بسیار اهمیت دارد. برای شبیه‌سازی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

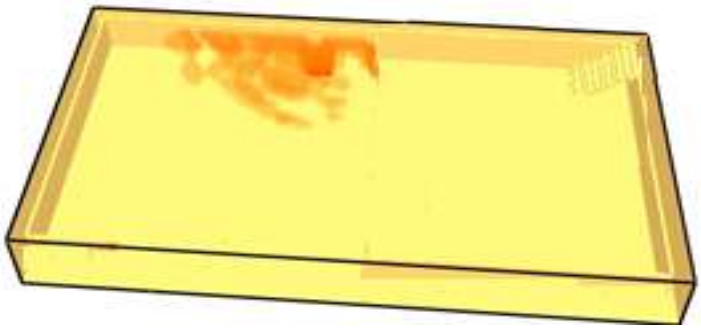
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

حریق، محل حریق در قسمت شمالی پارکینگ قرار دارد. طبق قوانین آتش‌نشانی برای شبیه‌سازی حریق در پارکینگ، قدرت حریق نمونه باید ۴ مگاوات باشد. به دلیل اهمیت راه‌پله‌ها، دستگاه‌های اندازه‌گیری دما و قابلیت دید بر روی پله اول و سوم قرار گرفت. برای مشخص شدن قابلیت دید و غلظت دود در ارتفاع ۲ متری سیستم اندازه‌گیری قابلیت دید و غلظت دود برای نرم‌افزار تعریف شد.



شکل۳: هندسه پارکینگ در نرم‌افزار پایروسیم

با توجه به استانداردهای آتش‌نشانی[12]، برای شبیه‌سازی حریق در پارکینگ زیرزمینی، میزان حرارت آزاد شده در حریق نمونه می‌بایست ۴ مگاوات باشد. بدین منظور با توجه به پژوهش‌های پیشین آتشی با ابعاد ۱/۲*۱/۲ متر و قدرت ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع با سوخت روغن در قسمت شمالی پارکینگ در نظر گرفته شد. در شکل ۴ مدل‌سازی آتش در نرم‌افزار نشان داده شده است.



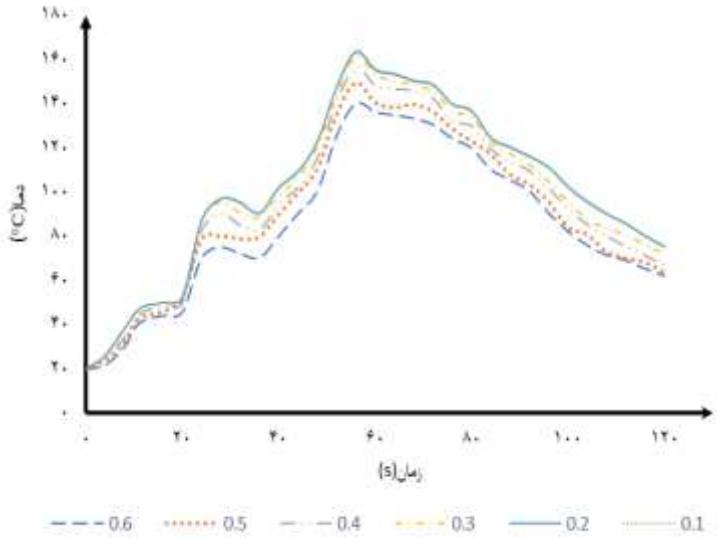
شکل۴: مدل‌سازی آتش در نرم‌افزار پایروسیم

۳-۳- استقلال حل از شبکه

در شبیه‌سازی‌های عددی برای کاهش خطای اندازه شبکه، می‌بایست مناسب‌ترین سایز شبکه به کار گرفته شود تا بتوان تاثیر اندازه شبکه بر روی حل را حذف نمود. به همین دلیل برای اندازه‌های مختلف شبکه‌بندی نتایج حل با یکدیگر مقایسه می‌گردد. در این پژوهش، هندسه مورد نظر با سایز ۰/۶، ۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۱ متر شبکه‌بندی می‌شود و نتایج حل دما بر روی پله اول، در ۱۲۰ ثانیه با یکدیگر مقایسه می‌گردد. در شکل ۵، نتایج دما در این شبکه‌بندی‌ها مشخص شده است. همان‌طور که از شکل مشخص می‌باشد، در سایز ۰/۲ و ۰/۱ متر تقریبا نمودارها بر روی هم منطبق شده‌اند. به همین دلیل حل برای شبکه‌بندی با سایز ۰/۲ متر انجام شد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]



شکل۵: نمودار دما در سایزهای مختلف شبکه‌بندی

به دلیل اینکه در ناحیه‌ای که حریق اتفاق می‌افتد تغییرات پارامترهای مورد نظر شدید است، شبکه محاسباتی غیر یکنواخت انتخاب شد و در نزدیکی منبع حریق سایز شبکه ۰/۱ متر در نظر گرفته شد.

۴- نتایج و بحث‌ها

در این پژوهش برای بررسی حریق، دو سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول پارکینگ بدون سیستم تهویه در نظر گرفته شد و پروفیل دما، غلظت دود و قابلیت دید برای ۱۲۰۰ ثانیه بدست آمد. در سناریوی دوم پارکینگ همراه با سیستم تهویه سنتی بررسی شد. در این حالت فن تزریق هوا (ساپلای فن) برای رقیق‌کردن دود و فن تخلیه دود (اگزاست فن) به منظور تخلیه دود استفاده می‌گردد.

اگزاست فن جهت تخلیه دود اگزوز وسایل اتومبیل‌ها و کاهش غلظت آلاینده‌های هوای پارکینگ، حداقل ۶ مرتبه تعویض هوا در ساعت در شرایط عادی در نظر گرفته می‌شود. در هنگام حریق برای تخلیه دود و محصولات احتراق حداقل ۱۰ مرتبه تعویض هوا در نظر گرفته می‌شود[13].

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی حریق، تعویض هوا ۱۰ مرتبه در نظر گرفته شد. تمام فن‌ها می‌بایست از نوعی انتخاب گردند که به مدت یک ساعت در برابر دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت داشته باشند. برای مشخص کردن ظرفیت اگزاست فن می‌بایست حجم پارکینگ محاسبه شود، سپس در تعداد دفعات تعویض هوا ضرب شود[13].

$$V = 48 \times 19 \times 3 = 2736 \quad m^3$$

$$\text{ظرفیت‌اگزاست‌فن} = 2736 \times 10 = 27360 \quad m^3/h$$

ظرفیت فن تزریق هوا می‌بایست ۵۰٪-۷۵٪ هوای تخلیه باشد، به طوری که فشار پارکینگ منفی بماند. فشار منفی پارکینگ مانع از نفوذ هوای پارکینگ به سایر نقاط ساختمان می‌شود. در این پژوهش، ظرفیت ساپلای فن ۵۰٪ هوای تخلیه در نظر گرفته شد[13].

$$\text{ظرفیت‌ساپلای‌فن} = 27360 \times 0/5 = 13680 \quad m^3/h$$

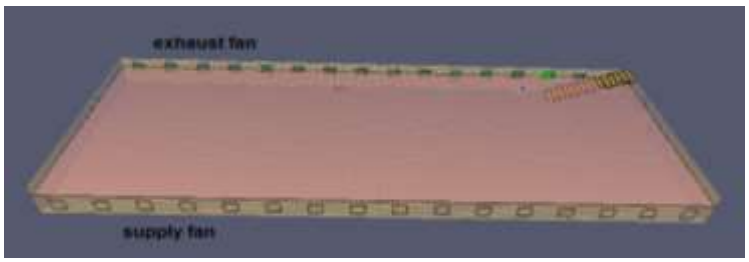
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

با بدست آوردن ظرفیت اگزست فن و ساپلای فن، می‌بایست دریچه‌هایی برای این منظور در هندسه تعبیه شود. ۱۵ دریچه برای اگزاست فن و ۱۵ دریچه برای ساپلای فن در نظر گرفته شد. ظرفیت هر دریچه به شرح ذیل می‌باشد[13]:

$$\text{ظرفیت هر دریچه اگزاست فن} = 27360 \div 15 = 1824 \quad m^3/h$$
$$\text{ظرفیت ساپلای فن} = 13680 \div 15 = 912 \quad m^3/h$$

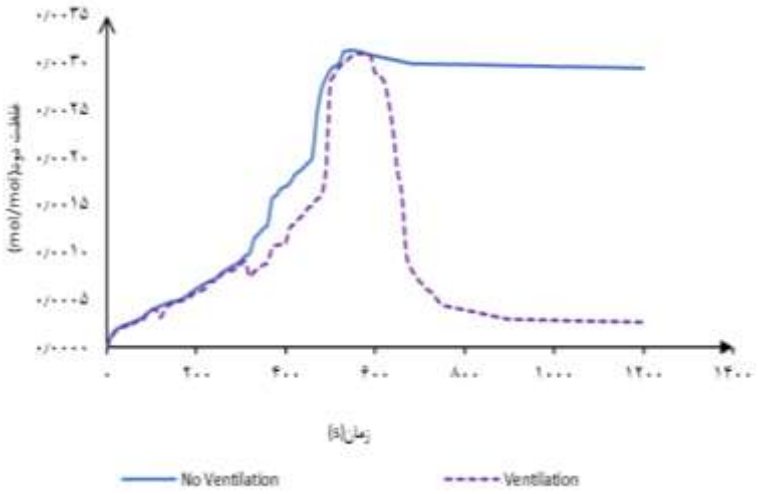
برای شبیه‌سازی سیستم تهویه در نرم‌افزار، فن تخلیه دود ۳۰ ثانیه پس از شروع حریق شروع به کار می‌کند و پس از گذشت ۸۰ ثانیه فن تزریق هوا فعال می‌شود. شکل ۶، محل قرارگیری اگزاست فن و ساپلای فن را نشان می‌دهد. دود ایجاد شده ساختمان را فرا می‌گیرد و افراد نمی‌توانند راه‌های فرار را تشخیص دهند. پس بررسی میزان غلظت دود و قابلیت دید افراد پس از شروع حریق بسیار اهمیت دارد. در شکل ۷، میزان غلظت دود در دو سناریوی مورد نظر با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالتی که تهویه وجود ندارد، مقدار غلظت دود بالا رفته و در مقدار خاصی ثابت می‌ماند. دود باقی مانده در محیط پارکینگ برای افرادی که در این فضا حضور دارند خطرناک می‌باشد و موجب خفگی و در برخی اوقات موجب مرگ می‌شود. در حالت دوم که تهویه صورت می‌گیرد و فن تخلیه دود پس از ۳۰ ثانیه شروع به کار می‌کند، میزان دود تا حدود ۰/۰۰۳ مول بر مول افزایش می‌یابد و سپس با تخلیه دود و ورود هوای تازه توسط ساپلای فن میزان دود تا حدود ۰/۰۰۰۲ مول بر مول کاهش می‌یابد. با تهویه فضای مورد نظر میزان غلظت دود کاهش یافته و افراد مدت زمان بیشتری برای فرار از این مکان دارند.



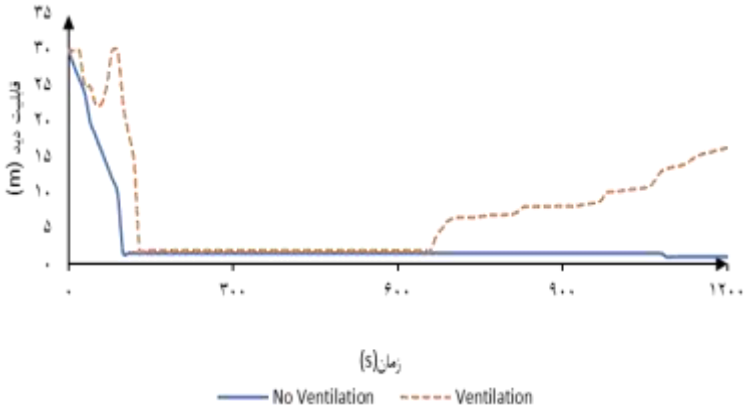
شکل۶: محل قرارگیری اگزاست فن و ساپلای فن در پارکینگ

پس از بررسی میزان دود در فضای پارکینگ، قابلیت دید افراد در زمان حریق اهمیت زیادی دارد. قابلیت دید، مقدار فاصله‌ای است که در هنگام حریق فرد می‌تواند مشاهده کند. هر چه میزان فاصله بیشتر باشد، دید فرد در دود بیشتر است و می‌تواند از محیط خارج شود. در شکل ۸، قابلیت دید در دو سناریوی مختلف با هم مقایسه شده است. در سناریوی اول که تهویه وجود ندارد در ابتدا قابلیت دید ۳۰ متر می‌باشد. با شروع حریق و پخش دود این مقدار در زمان ۳۰ ثانیه تا نزدیک به دو متر کاهش می‌یابد. شخصی که در فضای پارکینگ بدون تهویه قرار می‌گیرد از ۳۰ ثانیه پس از حریق مسیر مناسب برای فرار را به خوبی مشاهده نمی‌کند و نمی‌تواند به راحتی فرار کند. در سناریوی دوم که سیستم تهویه و اگزاست فن وجود دارد در ۳۰ ثانیه مقدار قابلیت دید تا نزدیک به ۲ متر کاهش می‌یابد اما با فعال شدن اگزاست فن‌ها و ساپلای فن پس از گذشت ۵۵۰ ثانیه مقدار قابلیت دید افزایش می‌یابد و به ۲۰ متر در زمان ۱۲۰۰ ثانیه می‌رسد که در مقایسه با سناریوی اول به میزان ۱۰ برابر بهبود یافته است. این نکته می‌بایست در نظر گرفته شود، سیستم اندازه‌گیری قابلیت دید و غلظت دود در راه‌پله قرار دارد و هنگامی‌که در این منطقه قابلیت دید ۲۰ متر باشد نزدیک به منبع حریق و در بقیه پارکینگ نیز شرایط همانند راه‌پله‌ها می‌باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]



شکل ۷: نمودار غلظت دود در دو سناریو مورد نظر



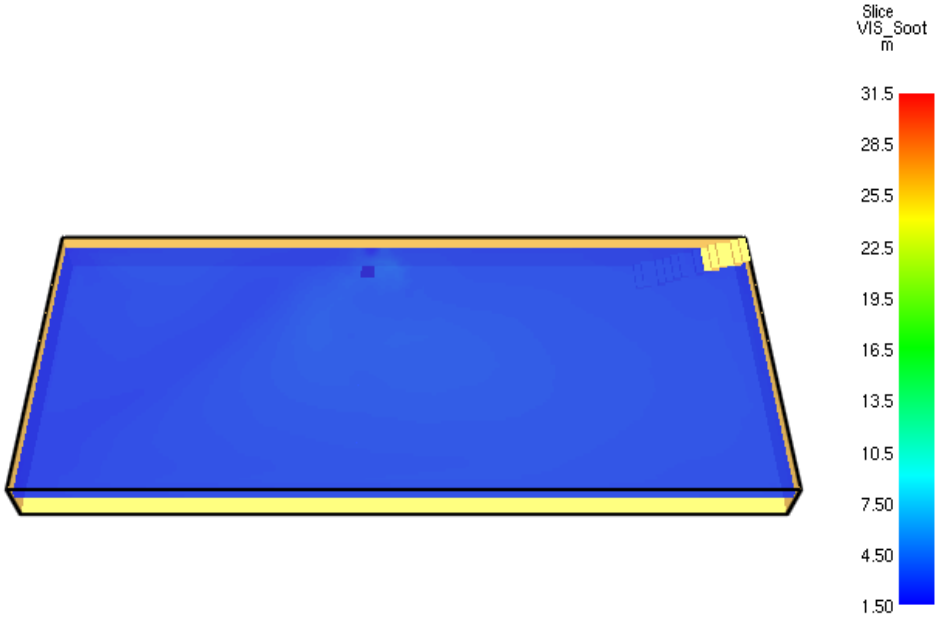
شکل ۸: نمودار قابلیت دید در دو سناریو مورد نظر

برای اینکه دید بهتری از فضای پارکینگ بدست آید، کانتور قدرت دید در دو سناریو در شکل ۹ و ۱۰ در زمان ۹۰۰ ثانیه آورده شده است. مقدار قابلیت دید در ارتفاع ۲ متر توسط سیستم اندازه‌گیری بدست آمد. در شکل ۹ مشاهده می‌گردد که در کل فضای پارکینگ قابلیت دید تا نزدیک به ۲ متر کاهش یافته است. کاهش قدرت دید در این حالت خطر جدی برای افراد قرار گرفته در پارکینگ محسوب می‌شود.

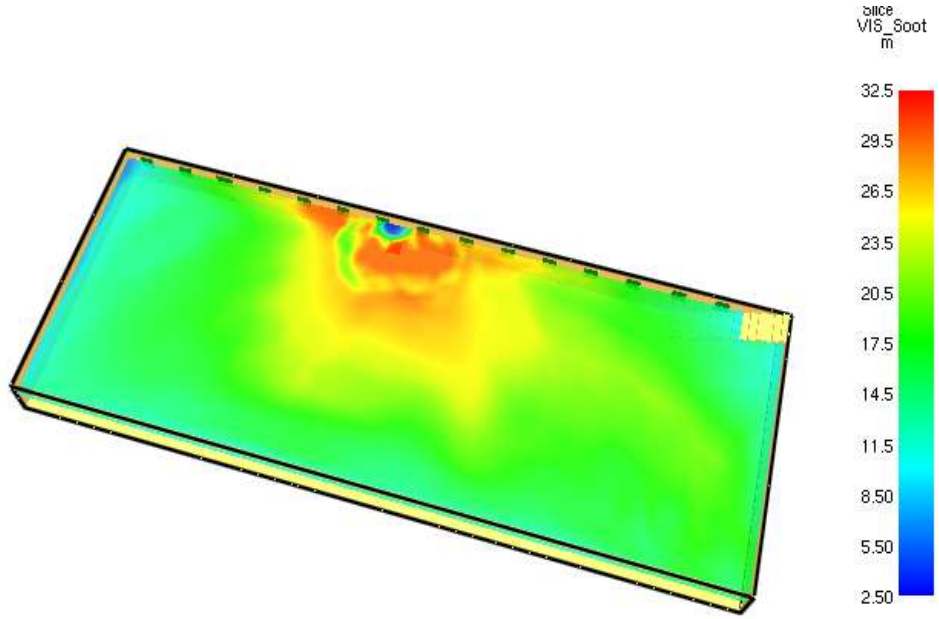
در شکل ۱۰ کانتور قدرت دید در حالت همراه با اگزاست فن و ساپلای فن در زمان ۹۰۰ ثانیه نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود مقدار قابلیت دید با تخلیه دود بهبود یافته است. در قسمت بالایی پارکینگ، اگزاست فن‌ها قرار دارند و در این بخش مقدار قابلیت دید بهتر شده است. همان طور که در شکل مشخص می‌باشد در زمان ۹۰۰ ثانیه، مقدار قابلیت دید نزدیک راه‌پله‌ها ۱۴ متر بدست آمده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]



شکل ۹: قابلیت دید در پارکینگ بدون سیستم تهویه در زمان ۹۰۰ ثانیه



شکل ۱۰: قابلیت دید در پارکینگ همراه با اگزاست فن و ساپلای فن در زمان ۹۰۰ ثانیه

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پخش دود و قابلیت دید در یک پارکینگ مورد بررسی قرار گرفت. دو سناریوی مختلف تعریف شد. در سناریوی اول پارکینگ بدون سیستم نهویه می‌باشد. در سناریوی دوم، پارکینگ همراه با سیستم تهویه در نظر گرفته شد. در این سیستم تهویه اگزاست فن برای تخلیه دود و ساپلای فن برای جبران هوا مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این پژوهش بررسی اثر سیستم تهویه بر غلظت دود و قابلیت دید در هنگام حریق بود. برای تخلیه دود ۱۵ دریچه با ظرفیت ۱۸۲۴ متر مکعب بر ساعت و تامین هوا ۱۵ دریچه با ظرفیت ۹۱۲ متر مکعب بر ساعت در نظر گرفته شد. در فضای مورد نظر حریقی با قدرت ۴ مگاوات شبیه‌سازی شد و در مدت ۱۲۰۰ ثانیه غلظت دود و قابلیت دید در دو سناریو با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به نتایج

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

بدست آمده مشخص شد در سناریوی اول پس از وقوع حریق میزان غلظت دود به ۰/۰۰۳ مول بر مول افزایش می‌یابد و افزایش غلظت دود خطر جدی برای افراد واقع در پارکینگ می‌باشد. در سناریوی دوم با فعال شدن اگزاست فن، میزان غلظت دود به ۰/۰۰۰۲ مول بر مول کاهش یافت و به میزان ۹۳٪ بهبود یافت. در سناریوی اول بدون سیستم تهویه، قابلیت دید در ابتدا ۳۰ متر بود که پس از شروع حریق به مقدار ۲ متر کاهش پیدا کرد و ثابت ماند. در سناریوی دوم به دلیل حضور اگزاست فن دود از پارکینگ خارج می‌گردد. در ابتدا قابلیت دید به میزان ۲ متر تقلیل یافت اما پس از ۶۰۰ ثانیه به میزان ۲۰ متر بهبود یافت. قابلیت دید نسبت به سناریوی اول ۹۰۰٪ بهبود یافت.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

[J/kg.K]: گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p	[W/m^3]: شار حرارتی به کار گرفته شده از طریق گازهای در حال سوختن برای احتراق و ادامه فرآیند سوختن	$\dot{q}_b'''$
طول مشخصه	D^*	[J/kg.K]: ثابت گاز کامل	R
[m/s^2]: شتاب گرانش زمین	g	[s]: زمان	t
[kg]: جرم مولکولی	M	[K]: دمای محیط	T_∞
[kg/m^3.s]: نرخ تولید گازهای در حال سوختن	$\dot{m}_b'''$	**علائم یونانی**	
[W/m^2]: نرخ حرارت آزاد شده	$\dot{Q}$	[kg/m^3]: چگالی	ρ
[W/m^2]: شار حرارتی	$\dot{q}''$	[W/m^3]: نرخ اتلاف	ε
[W/m^3]: نرخ حرارت آزاد شده بر واحد حجم	$\dot{q}'''$	[N/m^2]: تانسور تنش برشی	τ_{ij}

مراجع

[1]گل‌محمدی، رستم، "مهندسی حریق" فن‌آوران، همدان، ۱۳۸۱.

[2] Harland, W.A. and W.D. Woolley "Fire fatality study. Borehamwood Information Paper". IP 18/79, Building Research Establishment, University of Glasgow, (1979).

[3] Berl, W.C., and B.M. Halpin. "Human fatalities from unwanted fires". Johns Hopkins APL Technical Digest 1, (1980).

[4] محمدعلی جندقی میبدی، محمد امیری نژاد، پرویز دریس، امیر کرمانی شهابی حصار، "کنترل دود در حریق پارکینگ-آزمایش در مقیاس کامل"، دومین همایش ملی آتشنشانی و ایمنی شهری، تهران، ۱۳۹۵.

[5] Tiannian Zhou, Jiahao Liu, Qinpei Chen, Xiao Chen, Jian Wang, "Characteristics of smoke movement with forced ventilation by movable fan in a tunnel fire",Tunnelling and Underground Space Technology 64 (2017) 95–102.

[6] S.Lu, Y.H.Wang, R.F.Zhang, H.P. Zhang, Numerical Study on Impulse Ventilation for Smoke Control in an Underground Car Park, Procedia Engineening 11 (2011) 369-378.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

[7] P.A. (Tony) Enright, Impact of jet fan ventilation systems on sprinkler activation, Enright Consulting Pty. Ltd., PO Box 84, Black Rock, Victoria 3193, Australia.

[8] Deckers,X; Hang,S; Tilley,N; Merci. "Smoke Control in Case of Fire in a Large Carpark: CFD Simulations of Full-scale Configurations". Elsevier Ltd, Fire Safety Journal, (2013) , Vol.57, pp.22-34.

[9] Li,S.C; Chen,Y; Chen,X; Jing, G.G, "Engineering Numerical Simulation on the Amount of Make-up Air" Chinese; Elsevier Ltd, Journal of Procedia Engineering (2011),vol.11, pp.379-384.

[10] Launder, B.E., and D.B. Spalding. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering (2018) 3:269-289.

[11] J.Ji, Y.Y.Fu, C.G.Fan, Z.H.Gao, K.Y.Li; "An Experimenal Investigation on Thermal Characteristics of Sidewall Fire in Corridor-like Structures With Varying Width"; Int.J.Heat Mass Transf. (2015), 84, 562-570.

[12] J. Floyd, G. Forney, S. Hostikka, T. Korhonen, R. McDermott, and K.B. McGrattan, "Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model," NIST Special Publication,(2012),1018.

[13] Li J, Beji T, Brohez S, Merci B. CFD study of fire-induced pressure variation in a mechanically-ventilated air-tight corpark. Fire Safety Journal. 2020;115:103012.

[14] J.Ji, Y.Y.Fu, C.G.Fan, Z.H.Gao, K.Y.Li; "An Experimenal Investigation on Thermal Characteristics of Sidewall Fire in Corridor-like Structures With Varying Width"; Int.J.Heat Mass Transf.84, 562-570; (2015).

[15] Jin, Tadahisa, Chapter 2-4, Visibility and Human Behavior in Fire Smoke: Philip J. DiNenno, P.E. editor. SFPE Handbook of fire protection engineering, Third Edition. National Fire Protection Association. (2002).

[16] McGrattan, Kevin, et al., "Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide Volume 4: Mathematical Model," NIST Special Publication,vol. 4, p. 92, (2013).

[17] Ji J, Zhu L, Ding L, Yu L, Wan H. Numerical investigation of external wind effect on smoke characteristics in a stairwell. Fire technology. 2020;56(4):1681-702.

[18] Baalisampang T, Saliba E, Salehi F, Garaniya V, Chen L. Optimisation of smoke extraction system in fire scenarios using CFD modelling. Process Safety and Environmental Protection. 2021;149:508-17.

[19] Wang X, Fleischmann C, Spearpoint M. Applying the FDS pyrolysis model to predict heat release rate in small-scale forced ventilation tunnel experiments. Fire Safety Journal. 2020;112:102946.

[20] Truchot, B., Fouillen, F., & Collet, S. An Experimental Evaluation of Toxic Gas Emissions from Vehicle Fires. Fire Safety Journal, (2018).97, 111-118.

[21] Viegas, J. C., The Use of Impulse Ventilation for Smoke Control in Underground Car Parks. Tunneling and Underground Space Technology, (20۲0). 25 (1), 42-53.

[22] Zhang XG, Guo YC, Chan CK, Lin WY, Numerical Simulations on Fire Spread and Smoke Movement in an Underground Car Park. Building and Environment, (20۲۰) 42, 3466-3475.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]

چکیده انگلیسی:

Numerical simulation of fire in the parking lot of a commercial complex and the effect of ventilation on smoke concentration and visibility with Pyrosim software

Fatemeh Behbahani[1]*, Mehdi Hamzei[1], Zahra Mehrdoost[1] , Mohammad Moghiman[2]

[1]Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[2]Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Received: April 2022 Accepted: June 2021

Abstract

One of the dangers that always threatens buildings is the risk of fire. Smoke is generated after a fire. In most cases, smoke generated by fire poses a far greater risk to human life than fire. Therefore, by controlling the smoke, the building and the people living in it can be protected and the damages caused by the fire can be reduced. In this study, smoke distribution in the parking lot of a complex was investigated using PyroSim software. Navier-Stokes equations for energy, mass survival were used to solve and large vortex simulation model was used for turbulence. Two scenarios were considered to investigate the fire. In the first scenario, parking without ventilation system was studied and in the second scenario, it was studied with ventilation system. Exhaust fan was used to evacuate the smoke and sapphire fan was used to supply fresh air. The results of these two simulations were compared with each other. The fire power was 4 MW. The results showed that in the first scenario, the smoke concentration is 0/003 mol / mol and the visibility is 2 meter. In the second scenario, the smoke concentration is 0/0002 mol / mol, which is 93% better than the first scenario. Also, the visibility was initially reduced to 2 meters and then increased to 20 meters in 600 seconds with the activation of the exhaust fan and smoke evacuation. In fact, visibility improved by 900% compared to the first scenario. Reducing the concentration of smoke and increasing visibility make it easier for people to evacuate during a fire, and people are able to live longer in a fire.

Key words: Fire, smoke control, pyrosim software, large vortices, visibility
*corresponding author: dr.fatemeh.behbahani@gmail.com

Cite this article as: Fatemeh Behbahani, Mehdi Hamzei, Zahra Mehrdoost, Mohammad Moghiman. Numerical simulation of fire in the parking lot of a commercial complex and the effect of ventilation on smoke concentration and visibility with Pyrosim software. Journal of Energy Conversion, 2022, 9(2), 21-32.
DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.6.9]