



نابودی ذرات معلق در مراکز داده با پلاسمای سرد اتمسفری

مازندرانی، ابوالفضل^(۱) - سعیدی، مهرداد^(۲) - قندچی، آرش^(۳) - یوسفی نسب، صادق^(۴) - رمضان،

محمد^(۲) - ناظمیان علایی، محسن^(۵)

^۱سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده گداخت و پلاسما

^۲سازمان صدا و سیما، اداره کل ساختمان و تاسیسات، نگهداری جام جم

^۳سازمان صدا و سیما، اداره کل ساختمان و تاسیسات، حوزه ریاست

^۴سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای

^۵دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مکانیک، گروه مکانیک

چکیده

در این مقاله، شبیه‌سازی و ساخت پلاسمای سرد اتمسفری برای حذف ذرات معلق در مراکز داده به عنوان جایگزین فیلترهای گران قیمت صورت گرفته است. براساس استاندارد ISO 14644-1 ذرات معلق در مراکز داده دارای محدودیت هستند. تعداد ذرات معلق هوا با عبور از دستگاه پلاسمای سرد تخلیه سددی‌الکتریکی، بیش از ۹۹٪ کاهش یافت. نتایج تجربی نابودی ۱۰۰٪ ذرات معلق با ابعاد بیش از ۱ میکرومتر را نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی انجام شده با نرم افزار COMSOL با نتایج تجربی سازگار است. دما و رطوبت هوای ورودی مرکز داده، پس از عبور از پلاسما تغییر خاصی نداشته است. با ساخت این دستگاه معضل بزرگ تهیه و تعویض فیلتر در مراکز داده صدا و سیما حل شده است.

کلمات کلیدی: پلاسمای سرد، مراکز داده، فیلتراسیون، ذرات معلق، تصفیه هوا

مقدمه

امروزه پیشرفت روزافزون فناوری اطلاعات و نقش پررنگ آن در سازمان‌ها و دولت‌های الکترونیک و همچنین افزایش خدمات دیجیتال، موجب توسعه مراکز داده شده است. امنیت داده‌ها و مراکز داده در این امر بسیار حیاتی هستند. دولت‌ها برای نگهداری اطلاعات حساس خود در مراکز داده، تدابیر شدید و خاصی را اتخاذ می‌کنند. با پیش‌بینی‌های ایمنی و استفاده از سیستم‌های تنظیم دما، رطوبت و کنترل ترکیبات هوای محیط، بهینه‌ترین شرایط را برای ابررایانه‌ها و پردازنده‌های بسیار سریع و موازی فراهم می‌کنند [1, 2].

براساس استاندارد ASHRAE و TIA-942، دمای مرکز داده باید بین ۱۸ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد باشد [3, 4]. ذرات معلق با نشست بر روی بردها، انتقال حرارت را کاهش می‌دهند. در نتیجه مشکلات متعددی مانند تمرکز نقاط گرمایی، خرابی تجهیزات، قطع اتصالات در مدارهای الکترونیکی و ... را به وجود می‌آورد [2].

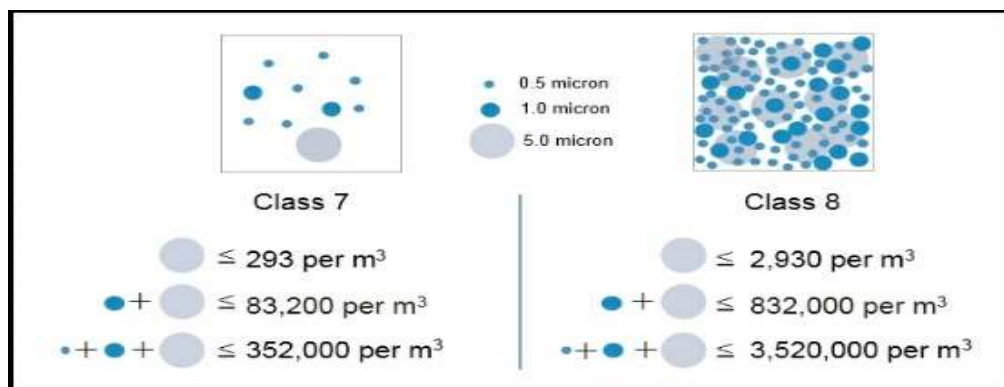
در سال ۲۰۱۵ محدودیت تعداد ذرات معلق براساس ISO 14644-1 در کلاس‌هایی بین ۱ تا ۹ برای مراکز داده طبقه‌بندی شد. در حال حاضر برای کاهش ذرات معلق، از فیلترهای نانو و فیلترهای هوپا استفاده می‌کنند که هزینه بسیار زیادی دارد

و ماکزیمم ۸۰٪ ذرات معلق محیط را می‌تواند کاهش دهد [4, 5]. باتوجه به مشکلات تامین فیلتر در کشور و هزینه‌های بسیار زیاد آن، مراکز داده‌های موجود از استانداردهای معرفی شده خارج می‌شوند و برای کاهش دمای تجهیزات از سیستم‌های برودت مازاد استفاده می‌کنند.

پلازما به عنوان حالت چهارم ماده کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف دارد. پلازما به سه دسته کلی پلاسمای سرد، گرم و داغ تقسیم شود [6]. هدف از این مقاله کاهش تعداد ذرات معلق و از بین بردن دود و ناخالصی‌های موجود در هوا، مطابق با استانداردهای مختلف و بروز دنیا با کمترین هزینه و با استفاده از پلاسمای سرد اتمسفری است. اطلاعات ارائه شده نتیجه یک پژوهش توسط مهندسين فنی مرکز داده در اداره کل ساختمان و تاسیسات سازمان صدا و سیما با یک تیم علمی می‌باشد. در حال حاضر این دستگاه بجای فیلتر، در مرکز داده صدا و سیما نصب و در حال استفاده می‌باشد.

تئوری کار

استاندارد ISO 14644-1 مطابق شکل (۱) در کلاس ۷ و ۸ محدودیت ذرات معلق را بر اساس قطر و تعداد ذرات معلق نشان می‌دهد. کلاس ۷ و ۸ کلاس‌های استاندارد برای مراکز داده هستند.



شکل ۱. استاندارد ISO در کلاس‌های ۷ و ۸

همچنین استاندارد TIA-942 استاندارای است که توسط انجمن علمی صنعت ارتباطات تی آی ای در سال 2005 برای تعیین راهکارهای عملی برای طراحی و ساخت مراکز داده‌ها ایجاد شده است. هدف این استاندارد تهیه نیازمندی‌ها و راهنمایی‌های لازم برای طراحی و نصب مرکز داده می‌باشد. مؤسسه BICSI در سال 2010 میلادی مستندی^۱ با موضوع طراحی و پیاده‌سازی مراکز داده منتشر نمود. ویرایش اخیر آن با نام ANSI/BICSI 002-2011 به عنوان استاندارد جدید طراحی و پیاده‌سازی مراکز داده ارائه شده است که در هر دوی این استانداردها به صورت جامع در خصوص میزان حداقلی ذرات گرد و غبار برای عملکرد بهتر مرکز داده پرداخته شده است [3, 4, 7]. استفاده از شیوه‌های نوین برای حذف ذرات

^۱ Data Center Design and Implementation Best Practices



معلق، می تواند تاثیر بسزایی در این زمینه داشته باشد. یکی از این روش های نوین استفاده از پلاسما است. در پلاسما سرد، دمای الکترون ها و سرعت شان بسیار بیشتر از سایر ذرات پلاسما مانند یون ها و رادیکال ها هستند. دمای ماکروسکوپی این نوع پلاسما در محدوده دمای اتاق است از جمله مولدهای پلاسما سرد، پلاسما تخلیه سددی الکتریک است که اختصاراً DBD نامیده می شود. بازدهی این دستگاه بالاست و مصرف انرژی بسیار پایینی دارد و در فشار اتمسفر عمل می کند. در دستگاه DBD حداقل به وجود یک مانع دی الکتریک بین صفحات رسانای متصل به ولتاژ (از مرتبه کیلوولت و متناوب) نیاز است زیرا دی الکتریک به عنوان یک عایق نمی تواند جریان DC را از خود عبور دهد. برای انتقال جریان در فاصله تخلیه و ایجاد شکست در گاز، میدان الکتریکی بین دو صفحه DBD باید به اندازه کافی بالا باشد [۴]. فاصله فضای تخلیه DBD های مختلف بر اساس کاربردهای آن ها از $100 \mu m$ تا چند سانتی متر تغییر می کند. در فشار اتمسفر فاصله فضای تخلیه از ابعاد میلی متر است که برای ایجاد آن نیاز به منبع تغذیه ولتاژ بالا (چند ده کیلوولت) است. تخلیه ها در DBD از تعداد زیادی رشته های جریان کوتاه عمر تشکیل می شوند. از لحاظ شکل ساختاری DBD ها به دو دسته کلی مسطح و استوانه ای قابل تقسیم هستند. در DBD مسطح الکترودها به صورت دو صفحه تخت به موازات یکدیگر در مقابل هم قرار می گیرند؛ اما در DBD استوانه ای الکترودها استوانه های تودرتو هم محور با شعاع های متفاوت هستند، بنابراین چگالی پلاسما برخلاف حالت مسطح در نزدیکی دو الکترود متفاوت خواهد بود. ساخت DBD مسطح به مراتب ساده تر است و پیچیدگی های ساختاری کمتری دارد اما از لحاظ شکل ساختاری برای کاربرد مورد نظر مناسب نمی باشد [۶, 8]. از آن جا که در فرآیند حذف آلاینده ها، هوا باید به طور کامل از بین دو الکترود عبور کند و هیچ گونه نشی از بین صفحات الکترود نداشته باشد استفاده از ساختار استوانه ای موجه تر و قابل اطمینان تر است.

طراحی دستگاه و اساس عملکرد آن

در شکل (۲) سمت راست، نمونه آزمایشگاهی اولیه دستگاه مولد پلاسما سددی الکتریک ساخته شده (نمای بیرونی و داخلی دستگاه) و سمت چپ، نمونه نهایی شده و تست شده در مرکز داده صدا و سیما را نشان می دهد. مطابق شکل، یک میله استیل که در داخل یک استوانه پیرکس قرار گرفته است الکترود مرکزی را تشکیل می دهد. الکترود دوم یک فویل آلومینیومی است که حول استوانه پیرکس پیچیده شده است. الکترود مرکزی باید کاملاً به صورت متقارن در مرکز عایق پیرکس واقع شود. هرگونه عدم تقارن در قرارگیری الکترود مرکزی منجر به تشکیل پلاسما تنها در یک سمت لوله شده و در نتیجه بخشی از هوا عبوری تحت تاثیر پلاسما قرار نمی گیرد. هوا از یک سمت استوانه وارد شده و بین الکترود مرکزی و عایق پیرکس شارش می کند و از انتهای لوله خارج می شود. طول مسافتی که هوا از بدو ورود تا لحظه خروج

از فضای DBD طی می‌کند ۱۵ سانتی‌متر، فاصله شعاعی بین الکترود مرکزی و قسمت داخلی لوله پیرکس ۳ میلی‌متر و ولتاژ اعمالی به الکترودها ۱۵ کیلوولت با فرکانس ۵۰ کیلو هرتز می‌باشد. دستگاه شمارنده ذرات DT-9881M در ورودی و خروجی محفظه DBD میزان ذرات معلق را اندازه‌گیری می‌کند. با تشکیل پلازما به دلیل وجود ذرات پر انرژی در فضای تخلیه، علاوه بر الکترون‌ها و یون‌ها گونه‌های مختلفی از رادیکال‌های آزاد نیز تولید می‌شوند. یون‌ها، الکترون‌ها و رادیکال‌های تولید شده به ذرات معلق برخورد می‌کنند و آنها را می‌شکنند و نابود می‌کنند. در شکل (۲) سمت چپ دستگاه در محفظه شیشه‌ای دو طبقه قرار دارد که پر از دود و ذرات معلق بوده است. پس از روشن شدن پلازما ذرات معلق و دود در طبقه بالا به طور کل از بین رفتند. در حالی که در طبقه پایین آن همچنان دود قابل مشاهده است.

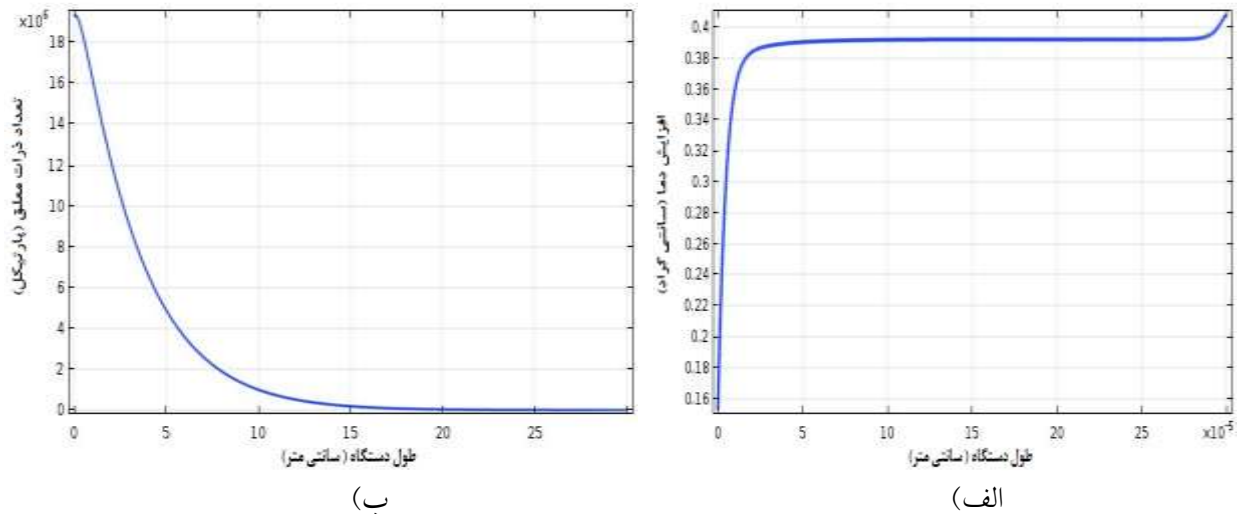


شکل ۲- (راست) نمونه آزمایشگاهی اولیه تخلیه سدیدی الکتریک (DBD) و تشکیل پلازما در کانال دایروی - چپ) تصویر نمای کلی دستگاه ساخته شده (قسمت بالا، دستگاه روشن و هوای تازه، قسمت پایین دستگاه خاموش و پر از دود است)

یکی از نرم‌افزارهایی که سیستم‌های پلاسمایی را به طور کامل شبیه‌سازی می‌کند نرم‌افزار Comsol Multiphysics است. با استفاده از این نرم‌افزار سیستم تخلیه دی‌الکتریک را به همراه شارش هوا و ذرات معلق با قطر ۰/۵، ۱ و ۵ میکرومتر شبیه‌سازی نموده و تعداد ذرات، در قسمت‌های مختلف محاسبه شده است. برای شبیه‌سازی دو ماژول پلازما و دینامیک سیالات با حالت شارش خطی، انتخاب و با یکدیگر تلفیق شده است. برای شبیه‌سازی طول استوانه تخلیه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است تا طول بهینه برای حذف این ذرات بدست آید. همانطور که گفته شده است افزایش دما موجب پایین آمدن عملکرد مراکز داده می‌شود. در این قسمت اثر پلازما در افزایش دما هوای ورودی مورد بررسی قرار گرفته است. اگر هوای ورودی مرکز داده (توسط سیستم های برودتی تعبیه شده) ۴ درجه سانتی‌گراد باشد مطابق شبیه‌سازی صورت گرفته دمای هوای ۴ درجه سانتی‌گراد در طول عبور از دستگاه تا ۰/۴ سانتی‌گراد افزایش دما پیدا خواهد کرد. این افزایش دما برای دماهای بالاتر کمتر بدست آمده است. شکل ۳-الف) میزان افزایش دمای هوا در عبور



از دستگاه را نشان می‌دهد. شکل ۳- (ب) تعداد ذرات معلق در هوا در گذر از طول دستگاه پلاسما را نشان می‌دهد که مطابق این شبیه‌سازی تعداد این ذرات معلق می‌تواند به صفر میل کند تاثیر طول دستگاه بر نابودی این ذرات مطابق شکل بدست آمده است. در این شکل تعداد ذرات را ۱۸ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است که با عدد تجربی قابل مقایسه و بررسی باشد.



شکل ۳. الف) میزان افزایش دمای عبوری از دستگاه (ب) تعداد ذرات معلق در هوا در گذر از طول دستگاه

نتایج تجربی

در این آزمایش، هوای مرکز داده وارد دستگاه پلاسما شده است و خروجی آن را توسط دستگاه شمارنده ذرات DT-9881M اندازه‌گیری می‌گردد تعداد ذرات معلق مورد نظر در ورودی (پیش از اعمال پلاسما) و خروجی (پس از اعمال تخلیه پلاسما) مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. شکل ۴ دو نمونه از تست‌های انجام شده را نشان می‌دهد که ذرات معلق هوای محیط مرکز داده را قبل و بعد از عبور دستگاه پلاسما اندازه‌گیری کرده است. مطابق شکل (۴)، تعداد ذرات معلق با قطرهای ۰/۵، ۱ و ۵ میکرومتر در ۱ لیتر هوا، از ۱۰۵۸۶ به ۴۰ کاهش یافته است که نشان دهنده حذف ۹۹/۶٪ از میزان اولیه می‌باشد. RH رطوبت نسبی محیط است که قبل و بعد از استفاده پلاسما ۳۵/۹٪ را نشان می‌دهد و تغییری نکرده است. AT^۴ دمای هوا را در ابتدا ۲۲/۴ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که بعد از عبور از پلاسما تنها ۰/۲ درجه سانتی‌گراد

Relative Humidity^r

Air Temperature^t

افزایش داشته و به ۲۲/۶ درجه سانتی گراد رسیده است. WB° و DP به ترتیب دمای حباب مرطوب و دمای نقطه شبنم را نشان می دهند که تغییرات خاصی در عبور از پلاسما نداشته است. با تبدیل لیتر به مترمکعب و مقایسه با شبیه سازی، مشاهده می شود که نتایج، سازگاری بسیار خوبی با یکدیگر دارند و نیاز به افزایش طول دستگاه به بیشتر از ۱۵ سانتی متر نیست.



دستگاه شمارنده
۹۸۸۱M و تعداد



شکل ۴. تصویر
ذرات DT-

ذرات معلق بر حسب ابعاد، (سمت چپ) محیط هوای مرکز داده، (سمت راست) محیط هوای مرکز داده پس از عبور از پلاسما

نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصله از آزمایش های انجام شده با توجه به این که آزمایش در شرایط بهینه انجام نشده است، میزان ۹۹/۶ درصد کاهش در ذرات معلق مشاهده شده که بسیار قابل توجه است. با استناد به شبیه سازی انجام شده و مطابقت آن با نتایج آزمایش می توان گفت که ذرات معلق با ابعاد بزرگتر از ۱ میکرومتر، ۱۰۰٪ نابود می شود. نتایج نشان می دهد دما و رطوبت هوا در عبور از پلاسما تغییرات خاصی ندارد. به راحتی می توان از این دستگاه در تمامی مراکز داده و حتی در داخل رک ها استفاده نمود. همچنین می توان ادعا نمود که پلاسما می تواند به عنوان یک فیلتر ارزان در زمینه تصفیه هوای مراکز داده مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع



- [1] Cathcart. I, how to Build a Data Centre Cooling Budget, Bicsi conference, 2008
- [2] Lee. S and et al, The Establishment Method of Green Data Center in Public Sector, The Journal of KIISE, 2009
- [3] ASHRAE Standard 90.4P, Energy Standard for Data Centers and Telecommunications Buildings
- [4] TIA-942 Data Center Standards Overview. Retrieved Dec 30, 2013
- [5] ISO 14644-1:2015 in a Data Centre, Guide to Particle Measurements
- [6] Piel, "Plasma Physics", (2010), An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas, Springer, pp. 4-5, ISBN: 978-3-642-10491-6
- [7] ASHRAE TC 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces and Electronic Equipment
- [8] Ulrich Kogelschatz, "Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications" Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 23, No. 1, March 2003