**فصلنامه علمی تخصصی طب کار**
**دوره پنجم/ شماره سوم/ پاییز ۹۲/ صفحات ۱۹-۱۱**

# مقایسه میزان حذف آمونیاک از هوا توسط شستشودهنده تر پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی و پی وی سی

**محمدجواد جعفری[۱]، لیلا امیدی[۲*]، منصور رضازاده آذری[۱]، محمدرضا مسعودی‌نژاد[۳]، مهشید نامداری[٤]**

۱. عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
۲. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
۳. عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
٤. دانشجوی دکتری آمار زیستی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۱۵

## چکیده

**مقدمه:** در شستشودهنده‌های تر از مواد پرکننده مختلفی استفاده می‌شود که هر یک دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود می‌باشد. پرکننده‌های متعارف سرامیکی دارای راندمان جداسازی بالا بوده اما سنگین‌وزن، شکننده و دارای افت فشار زیادی هستند. پیدا کردن جایگزین مناسب برای این پرکننده‌ها همواره مورد علاقه پژوهشگران بوده است. هدف از مطالعه حاضر، مقایسه میزان حذف آمونیاک از هوا توسط یک شستشودهنده تر پر شده با دو نوع پرکن مختلف حلقه‌های راشیگ سرامیکی و حلقه‌های پی‌وی‌سی می‌باشد.

**روش بررسی:** ستونی در معیار آزمایشگاهی یک بار با استفاده از حلقه‌های راشیگ سرامیکی و بار دیگر با استفاده از حلقه‌های پی وی سی تا ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر به طور انباشته پر شد. هوای حاوی آلاینده آمونیاک در سه گذر حجمی ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه به ستون تزریق شد. گاز آمونیاک در سه دامنه تراکم شامل ۲٦-۲۳، ۴۳/۷-۴۰/۲ و ٦۰-۵۵ پی‌پی‌ام وارد ستون گردیده و جهت شستشوی گاز از مایع شستشوی آب استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج ٥٤ آزمایش نشان داد که در هر سه گذر حجمی مورد مطالعه، ستون پر شده با حلقه‌های راشیگ راندمان حذف آمونیاک بالاتری نسبت به زمانی که با پرکننده نوع پی‌وی‌سی پر شده است، دارد. با افزایش تراکم آمونیاک ورودی به ستون شستشودهنده، راندمان حذف آن در هر دو حالت پر شده با حلقه‌های راشیگ و یا پی‌وی‌سی به طور معنی‌دار با p-value کمتر از ۰/۰۰۱ افزایش یافت. با افزایش میزان گذر حجمی هوا از ۵ به ۱۰ و از ۱۰ به ۱۵ لیتر بر ثانیه افت فشار سیستم به طور معنی‌دار با p-value کمتر از ۰/۰۰۱ افزایش یافت.

**نتیجه‌گیری:** به دلیل افت فشار بیشتر ایجاد شده در ستون تر پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی، حلقه‌های پی‌وی‌سی جایگزین مناسبی برای حلقه‌های راشیگ سرامیکی است.

**کلید واژه‌ها:** آمونیاک، شستشودهنده تر، حلقه‌های راشیگ، پی‌وی‌سی

[*] نویسنده مسئول: آدرس پستی: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه‌ای، تلفن: ۰۲۱-۲۲٤۳۲۰٤۰
پست الکترونیک: omidileila@yahoo.com

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

## مقدمه

آمونیاک از دسته آلاینده‌هایی است که از جنبه بوی آزاردهنده آن و همچنین آلودگی هوا حائز اهمیت است(۱). مواجهه تکراری با آمونیاک باعث تحریک مزمن راه‌های تنفسی، سرفه مزمن، آسم و فیبروز ریوی می‌شود(۲).

برای حذف گاز آمونیاک از هوا روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش شستشو با آب (اسکرابر)، چگالش و روش‌های بیولوژیکی اشاره کرد(۳). "شستشودهنده پرشده" استفاده گسترده و عملکرد موثری در حذف گازهای محلول از جریان هوای آلوده دارد. در فرایند جذب، فاکتورهای اصلی تاثیرگذار بر راندمان جذب شامل گذر حجمی گاز، گذر حجمی مایع و گذر حجمی گاز آلاینده است(٤). در جذب آمونیاک، هوای حامل آلاینده ازجریان آب عبورمی‌کند و آمونیاک موجود در جریان هوا جذب آب شده (Absorption) و هوا پاک می‌شود. آمونیاک موجود در آب را می‌توان از طریق تقطیر بازیافت نمود. توزیع تعادل کسر گاز و کسر مایع یک آلاینده در فرآیند جذب توسط قانون هنری بیان می‌شود(۵).

استفاده از روش شستشودهنده تر جهت حذف گاز آمونیاک ساده بوده و خیلی تحت تاثیر دما و pH گاز ورودی نیست و مشکلات داخلی شستشودهنده تر بسیار کم است(٦). ماده پرکننده در ستون شستشو سبب افزایش سطح تماس مایع شستشو و گاز شده و در نهایت سطح وسیعی از انتقال جرم را به وجود می‌آورد(۷).

امروزه بیشتر از مواد ترموپلاستیک مانند پی وی سی جهت پر کردن ستون‌های شستشودهنده تر استفاده می‌شود(۸). در گذشته استفاده از حلقه‌های راشیگ سرامیکی در پر کردن ستون مرسوم بوده است(۹). از مزایای پی وی سی می‌توان به وزن کم آن، مقاومت در برابر شکستن، مقاومت حرارتی و شیمیایی خوب و حساسیت پایین آن به نحوه توزیع مایع شستشو و قیمت پایین آن اشاره نمود. اندازه‌های مختلف آن سبب پر کردن بهینه و ظرفیت بالای شستشودهنده تر می‌گردد. از معایب آنها عدم مقاومت در دماهای خیلی بالا است(۸) و از مزایای حلقه‌های راشیگ سرامیکی می‌توان به مقاومت عالی آن در مقابل مواد شیمیایی مختلف از جمله مواد خورنده اشاره نمود. این حلقه‌ها دارای توزیع مایع مطلوبی هستند، مقاومت خوبی در برابر فرسایش ناشی از اسیدها دارند، اما در مقابل هیدروفلوریک اسید مقاومت خوبی ندارند. مواد پرکننده سرامیکی در اثر تغییر دمای ناگهانی ممکن است به سرعت ترک بردارند(۱۰،۱۱). این مواد دارای وزن بیشتری بوده و نیاز به نگهدارنده قوی‌تری دارند، اما مواد پلاستیکی نسبت به مواد سرامیکی و فلزی سبک‌تر می‌باشند(۱۲). هدف از مطالعه حاضر مقایسه میزان راندمان پاکسازی آمونیاک از هوا توسط یک ستون پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی و پی وی سی می‌باشد.

## روش بررسی

در یک مطالعه آزمایشگاهی- کاربردی از یک ستون پر شده در مقیاس آزمایشگاهی به منظور حذف آمونیاک از جریان هوا با مایع جاذب آب استفاده شد. ستون شستشودهنده تر مورد استفاده مجهز به کلیه تجهیزات و بخش‌های موردنیاز در یک ستون واقعی بود. شکل ۱، تصویر شماتیک و جدول ۱ مشخصات ستون پر شده مورد استفاده در مطالعه را نشان می‌دهد(۱۳).

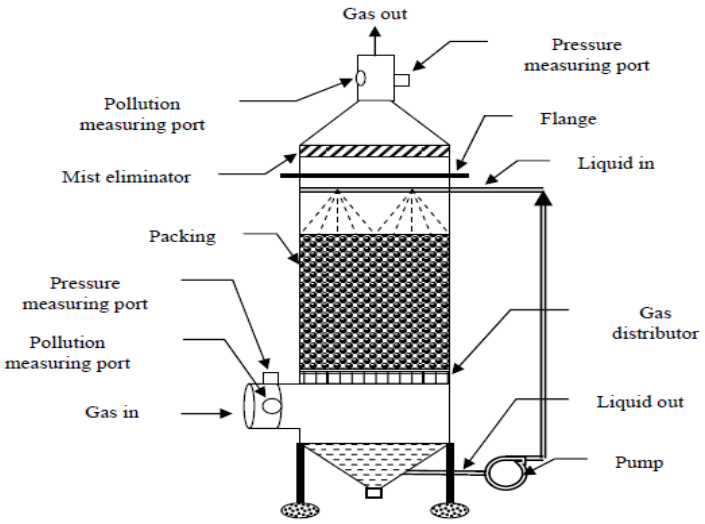
در این مطالعه کلیه اقدامات لازم به منظور اعتباربخشی و کالیبراسیون دستگاه‌ها صورت گرفت. مقدار گذر حجمی مایع شستشو نیز با توجه به توصیه برخی منابع موجود که مقدار آن را ۱۰-۵ گالن بر دقیقه به ازای هر ۱۰۰۰ فوت مکعب بر دقیقه هوا پیشنهاد کرده‌اند(١٤)، تعیین شد و نسبت L/G در مطالعه حاضر ۰/٦ تعیین گردید که بر اساس توصیه سازمان ACGIH، این میزان ۰/٦ تا ۱/۲ برای ستون‌های پرشده می‌باشد(۱۵).

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

یکی از مواد پرکننده در این مطالعه حلقه‌های راشیگ سرامیکی با اندازه ۰/۲۵ اینچ و پرکننده دیگر حلقه‌های پی وی سی ۰/٤٤ اینچی بود. ارتفاع مواد پرکننده در داخل ستون نیز مساوی ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد(١٦). در این مطالعه از سه گذر حجمی هوا شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه استفاده شد. جریان هوا توسط هواکش دور متغیر مدل HVDLT-MK۲ ( High velocity ductwork tester MK۲ leakage) ساخت شرکت Air flow کشور انگلستان تامین و تنظیم شد. مقدار گذر حجمی هوا با استفاده از یک ونتوری‌متر استاندارد نوع G اندازه‌گیری شد.

**جدول ۱-** مشخصات ستون پر شده مورد مطالعه

| ردیف | شاخص | مقدار |
|---|---|---|
| ۱ | قطر ستون (m) | ۰/۲۰ |
| ۲ | ارتفاع ستون (m) | ۱/۸ |
| ۳ | عمق بستر پر شده (m) | ۰/۳۰ |
| ٤ | اندازه مواد پرکننده (Inch) | ۰/۲۵ و ۰/٤٤ |
| ۵ | گذر حجمی گاز(lit/s) | ۵، ۱۰ و۱۵ |
| ٦ | گذر جرمی گاز (lb/ft۲ hr) | ۱٤۰/۸۸، ۲۸۱/۷۷ و ٤۲۲/٦٦ |
| ۷ | دمای گاز ($^{o}C$) | ۲۵ |
| ۸ | تراکم بخار آلاینده ورودی (ppm) | ۲٦-۲۳، ٤۳/۷-٤۰/۲ و ٦۰-۵۵ |
| ۹ | گذر حجمی مایع (lit/min) | ۰/۲۱۵، ۰/٤۳ و ۰/٦٤۵ |
| ۱۰ | گذر جرمی مایع (lb/ft۲ hr) | ۸٤/۱۳، ۱٦۸/۲۷ و ۲۵۲/٤۱ |




**شکل ۱-** چیدمان شستشودهنده تر پرشده و تجهیزات جانبی آن(۱۳)

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

افت فشار این ونتوری توسط فشارسنج مدل Type ۵۰۴ شرکت Air flow کشور انگلستان اندازه‌گیری شده و با استفاده از نمودار مربوطه، مقدار گذرهای حجمی جریان هوای مورد نظر تعیین و تنظیم می‌شد. دستگاه فشارسنج Type ۵۰۴ دارای دو فشارسنج است که یکی برای اندازه‌گیری جریان عبوری از ونتوری و دیگری برای تعیین میزان نشتی از کانال‌ها به کار می‌شود.

در این مطالعه فقط از فشارسنج مخصوص ونتوری استفاده شد. محلول شستشوی اولیه عاری از آلاینده آمونیاک بوده و جهت به گردش درآوردن مایع جاذب از یک پمپ با حداکثر ظرفیت گذر حجمی ۶ لیتر بر دقیقه استفاده شد. در مسیر جریان محلول، از یک شیر آزمایشگاهی قابل تنظیم استفاده گردید تا گذرهای حجمی مورد نظر در این مطالعه تنظیم گردند. محلول شستشو توسط اتصالات و لوله‌های پلاستیکی به نازل‌های ستون تزریق و در خروجی ستون میزان جریان مایع با یک بشر ۱ لیتری و کرنومتر اندازه‌گیری شد.

گذر حجمی هوای عبوری و مایع شستشو دو متغیر مهم در مطالعه می‌باشد که باید به دقت کنترل گردند. نسبت گذر حجمی مایع به گاز در کلیه آزمایشات ثابت حفظ شد. به همین منظور برای گذر حجمی هوای ۵ لیتر بر ثانیه، از گذر حجمی مایع شستشوی ۲۱۵ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. برای گذر حجمی هوای ۱۰ لیتر بر ثانیه، گذر حجمی مایع شستشو ۴۳۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و برای گذر حجمی هوای معادل ۱۵ لیتر بر ثانیه از گذر حجمی مایع شستشوی ۶۴۵ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. در این مطالعه از سه دامنه تراکم مختلف آمونیاک شامل ۲۶-۲۳، ۴۳/۷-۴۰/۲ و ۶۰-۵۵ پی‌پی‌ام استفاده شد.

گاز آمونیاک از طریق یک کپسول به ستون پر شده تزریق و همزمان تراکم آمونیاک در هوای ورودی به ستون و خارج شده از آن اندازه‌گیری شد. کپسول به رگولاتور مخصوص گاز آمونیاک متصل و مقدار گاز تزریق شده از طریق فشارسنج روی رگولاتور تنظیم می‌شد. بدین منظور عدد فشارسنج رگولاتور بر حسب تراکم‌های مورد نیاز ثابت شده و تراکم مربوطه در ورودی و خروجی هر یک با سه بار تکرار قرائت می‌شد.

راندمان حذف آمونیاک توسط ستون پر شده در هر حالت با استفاده از تراکم‌های آمونیاک در هوای ورودی و خروجی ستون و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد(۶).

$$\eta = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100$$

که در آن، $\eta$ راندمان شستشودهنده تر پر شده (٪)، $C_{in}$ تراکم آلاینده هوای ورودی به شستشودهنده (پی‌پی‌ام) و $C_{out}$ تراکم آلاینده در هوای خارج شده از شستشودهنده (پی‌پی‌ام) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری تراکم لحظه‌ای و دقیق گاز آمونیاک در ورودی و خروجی ستون پر شده از دستگاه قابل حملی به نام سنسور آمونیاک ساخت شرکت Crowcon کشور انگلستان که قبل از هر اندازه‌گیری کالیبره می‌شد استفاده شد. برای برخورداری از دقت بیشتر در مطالعه حاضر از دامنه ۱۰۰-۰ پی‌پی‌ام این وسیله استفاده گردید. برای کنترل خطرات مواجهه با گاز آمونیاک بر اساس برگه اطلاعات ایمنی مواد شیمیایی از ماسک و عینک ایمنی مناسب استفاده گردیده و کپسول در قسمتی از آزمایشگاه مهار شده بود.

اثر تمام متغیرهای مستقل شامل گذر حجمی هوا، تراکم آمونیاک در ورودی شستشودهنده تر و دو نوع ماده پر کننده با سه بار تکرار در هر آزمایش بر روی متغیر وابسته (تراکم آمونیاک در خروجی شستشودهنده تر) با تحلیل واریانس بررسی و برای متغیرهایی که اثر معنی‌دار داشتند با آزمون توکی مشخص گردید که بین کدام گروه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. جهت آنالیز داده‌ها از نسخه ۱۶بسته نرم‌افزاری SPSS استفاده شد.

## یافته‌ها

یافته‌های ۵۴ آزمایش نشان داد که در هر سه گذر حجمی هوا راندمان حذف گاز آمونیاک در بستر پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی بالاتر از نوع پی‌وی‌سی

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

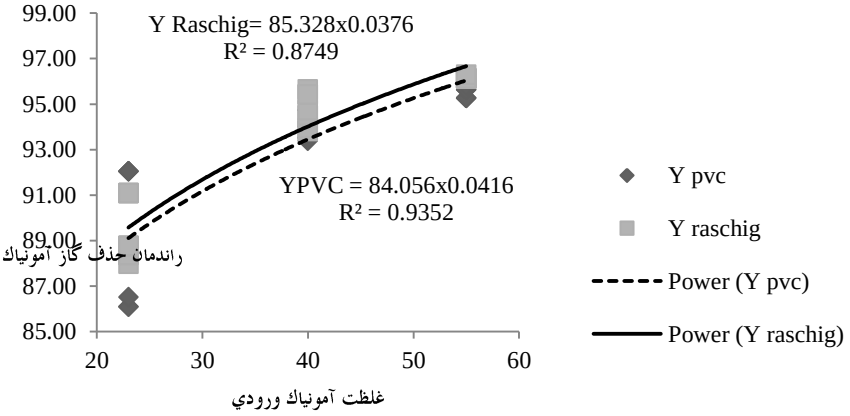
است. جدول ۲ اثر گذرهای مختلف حجمی هوا را بر راندمان حذف گاز آمونیاک نشان می‌دهد. بالاترین میانگین راندمان حذف گاز در پر کن حلقه راشیگ سرامیکی در گذر حجمی هوای۵ لیتر بر ثانیه با مقدار ۹٤/۲٦±۲/۳۷ دیده شد. بالاترین میانگین راندمان حذف گاز در نوع پی‌وی‌سی در گذر حجمی هوای ۱۵ لیتر بر ثانیه با مقدار ۹۵/۸۲±۳/۲۱ است.

**جدول ۲**- اثر گذرهای حجمی مختلف هوا بر راندمان حذف ستون پر شده با پرکننده‌های مورد مطالعه

| گذر حجمی هوا lit/s | نوع پرکن | تعداد آزمایش | کارآیی حذف (درصد) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین | انحراف معیار | حداقل | حداکثر |
| ۵ | سرامیک | ۹ | ۹٤/۲٤ | ۲/۳۷ | ۹۱/۰۹ | ۹٦/۱۲ |
| | پی وی سی | ۹ | ۹۱/۱۸ | ۳/۹٦ | ۸٦/۰۹ | ۹۵/۲۷ |
| ۱۰ | سرامیک | ۹ | ۹۳/۰٦ | ۳/۵۹ | ۸۷/۹۸ | ۹٦/۲۹ |
| | پی وی سی | ۹ | ۹۰/٦٦ | ۵/۲۳ | ۸۳/۳۵ | ۹٤/۷۳ |
| ۱۵ | سرامیک | ۹ | ۹۲/۸۹ | ۳/۳۵ | ۸۸/۳۷ | ۹٦/۲۹ |
| | پی وی سی | ۹ | ۹۲/٦۹ | ۳/۲۱ | ۸۸/۲٦ | ۹۵/۸۲ |

نتایج مقایسه‌های آماری توکی نشان داد که با افزایش تراکم ورودی آلاینده در ستون پرشده با هر دو نوع پرکننده پی‌وی‌سی و حلقه راشیگ، میانگین کارآیی حذف گاز آمونیاک با مایع شستشوی آب به طور معنی‌داری (p-value<۰/۰۰۱) افزایش می‌یابد. البته این افزایش حذف گاز آمونیاک در ستون پر شده با حلقه راشیگ سرامیکی بالاتر از نوع پی‌وی‌سی است.

بالاترین راندمان حذف گاز در بیشترین دامنه تراکم (٦۰-۵۵ پی‌پی‌ام) و در ستون پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی با میانگین ۹۵/۲۳٪ دیده می‌شود. شکل ۲ راندمان حذف گاز آمونیاک را در دامنه‌های متفاوت تراکم با توجه به نوع ماده پرکننده نشان می‌دهد.




**شکل ۲**- راندمان حذف گاز آمونیاک در دامنه‌های تراکمی متفاوت در دو نوع ماده پرکننده

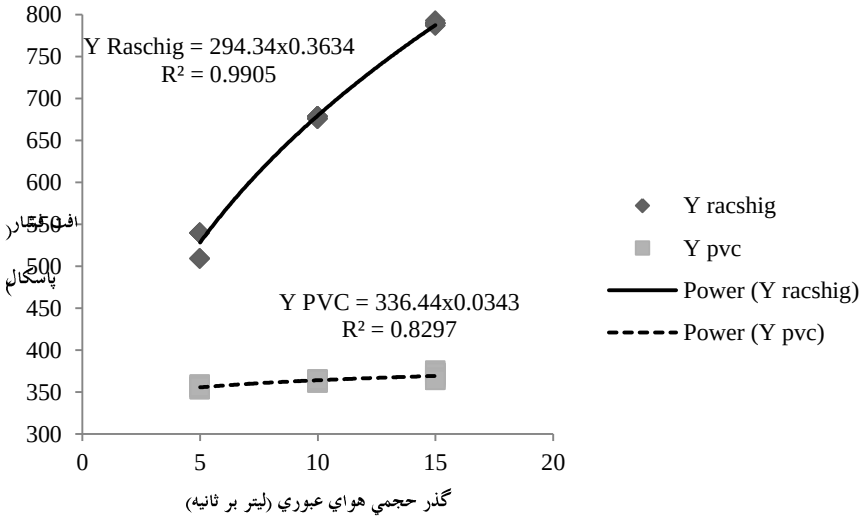
[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

با افزایش گذر حجمی هوا، افت فشار ستون پر شده با هر دو نوع پرکننده حلقه‌های راشیگ و پی‌وی‌سی، افزایش می‌یابد. افت فشار در شستشودهنده تر پر شده با حلقه راشیگ بیشتر از افت فشار در ستون پر شده با پی‌وی‌سی است.

جدول ۳ تاثیر گذر حجمی هوا را بر افت فشار ستون پر شده با هر دو نوع ماده پرکننده نشان می‌دهد. شکل ۳ تاثیر گذر حجمی هوا را بر افت فشار نشان می‌دهد. مقایسه آماری میانگین افت فشار ستون پر شده با دو نوع پرکننده مورد آزمایش نشان می‌دهد که تغییر گذر حجمی هوا از ۵ به ۱۰ و از ۱۰ به ۱۵ لیتر بر ثانیه سبب افزایش معنی‌دار (با p-value کمتر از۰/۰۰۱) افت فشار ستون پر شده با هر دو نوع پرکننده می‌شود.

**جدول ۳**- افت فشار ستون پر شده با پرکننده‌های مورد مطالعه در گذرهای حجمی مختلف هوا

| نوع پرکننده | گذر حجمی هوا lit/s | تعداد آزمایش | افت فشار بر حسب پاسکال | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف از معیار |
| حلقه راشیگ | ۵ | ۹ | ۵۲۹/۱۳ | ۵۰۸/۷٤ | ۵۳۹/۳۲ | ۱۵/۲۹ |
| | ۱۰ | ۹ | ٦٧٦/٤٧ | ٦٧٥/٥٤ | ٦٧٨/٣٢ | ۱/۳۹ |
| | ۱۵ | ۹ | ۷۸۸/۹ | ۷۸٦/۷۹ | ۷۹۲/۳۰ | ۱/۸۵ |
| پی وی سی | ۵ | ۹ | ۳۵۵/۸٤ | ۳۵۳/۰٦ | ۳۵۸/٦۲ | ۱/۹٦ |
| | ۱۰ | ۹ | ۳٦۳/۵٦ | ۳٦۱/٤۰ | ۳٦٤/۱۸ | ۱/۲۲ |
| | ۱۵ | ۹ | ۳۷۱/۵۹ | ۳۵۳/۰٦ | ۳۷۵/۳۰ | ۱/۹٦ |




**شکل ۳**- تغییرات افت فشار بستر پر شده با پرکننده‌های مورد مطالعه در گذرهای حجمی مختلف هوا

## بحث

با افزایش گذر حجمی هوا زمان ماند هوای حاوی آلاینده در ستون کاهش می‌یابد، در صورتی که زمان ماند مناسب سبب ایجاد تماس کافی بین هوای حاوی آلاینده و مایع جاذب می‌گردد(۱۷). بر پایه نتایج حاصل از این مطالعه، با افزایش گذر حجمی هوا از ۵ لیتر بر ثانیه به ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه در بستر پرکن حلقه راشیگ میزان

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

راندمان حذف گاز آمونیاک در شستشودهنده تر پر شده با شیب کمی روند کاهشی به خود گرفته است. در بستر پر شده با پی‌وی‌سی با افزایش گذر حجمی هوا از ۵ به ۱۰ لیتر بر ثانیه راندمان حذف گاز آمونیاک با شیب کمی کاهش داشته است و با افزایش گذر حجمی هوا از ۱۰ لیتر بر ثانیه به ۱۵ لیتر بر ثانیه با شیب کمی روند افزایشی به خود گرفته است. جهت مقایسه تاثیر گذر حجمی بر راندمان حذف گاز آمونیاک در شستشودهنده تر پرشده، در هر سه گذرحجمی یعنی گذر حجمی ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه در حلقه راشیگ راندمان حذف آمونیاک بالاتر از پرکننده نوع پی‌وی‌سی است.

در پرکننده حلقه راشیگ با افزایش گذر حجمی از ۵ لیتر بر ثانیه به ۱۰ لیتر بر ثانیه راندمان حذف کاهش یافته اما این کاهش با p-value برابر ۰/۵۲ معنی‌دار نمی‌باشد. در همین ماده پرکننده با افزایش گذر حجمی هوا از ۱۰ به ۱۵ لیتر بر ثانیه نیز کاهش راندمان حذف گاز آمونیاک دیده می‌شود اما این افزایش نیز با p-value برابر ۰/۳۲ معنی‌دار نیست. در پرکننده پی‌وی‌سی نیز با افزایش گذر حجمی هوا از ۵ به ۱۰ لیتر بر ثانیه کاهش راندمان حذف و با افزایش گذر حجمی هوا از ۱۰ به ۱۵ لیتر بر ثانیه افزایش راندمان حذف مشاهده می‌گردد اما معنی‌دار نیست.

افزایش گذر حجمی گاز ورودی به ستون از یک سو سبب کاهش زمان ماند گاز حاوی آلاینده در ستون می‌شود که خود سبب کاهش راندمان جداسازی می‌گردد و از سوی دیگر سبب تلاطم بیشتر در جریان هوا در داخل ستون شده و سبب افزایش انتقال جرم و بالا رفتن راندمان جداسازی می‌گردد.

اثر نهایی افزایش گذر حجمی هوا بر راندمان جداسازی حاصل برآیند این دو اثر خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که در مطالعه حاضر این دو اثر ظاهراً برابر بوده و تغییر عمده‌ای بر راندمان نهایی ندارند.

با افزایش تراکم گاز آمونیاک راندمان حذف افزایش می‌یابد(۱۸).

در بستر پر شده با حلقه راشیگ هنگامی که تراکم آمونیاک ورودی از دامنه ۲۳ تا ۲۶ پی‌پی‌ام به دامنه ۴۰/۲ تا ۴۳/۷ پی‌پی‌ام افزایش می‌یابد، راندمان حذف گاز آمونیاک به طور معنی‌دار با p-value کمتر از ۰/۰۰۱ افزایش می‌یابد. در همین بستر با افزایش تراکم ورودی از ۴۰/۲ تا ۴۳/۷ پی‌پی‌ام به دامنه ۵۵ تا ۶۰ پی‌پی‌ام، راندمان حذف گاز آمونیاک به طور معنی‌دار با p-value کمتر از ۰/۰۰۱ افزایش می‌یابد. در بستر پر شده با حلقه‌های پی‌وی‌سی نیز با افزایش تراکم ورودی از هر دامنه مطالعه شده با دامنه بالاتر ورودی نیز راندمان حذف گاز آمونیاک به طور معنی‌داری با p-value کمتر از ۰/۰۰۱ افزایش می‌یابد. این نتایج با مطالعات Jafari و همکاران و Halwagi همخوانی دارد(۱۳،۱۴).

راندمان حذف گاز آمونیاک با مایع شستشوی آب در مطالعات مختلف انجام شده با ستون پر شده حدود ۷۰٪ گزارش شده است(۱۸،۱۹).

میانگین راندمان حذف گاز آمونیاک در مطالعه حاضر بالاتر از ۸۵٪ بوده است. در بستر پر شده با هر دو نوع ماده پرکننده، با افزایش گذر حجمی هوا افت فشار بستر افزایش می‌یابد(۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۴).

افت فشار بالاتر مستلزم مصرف انرژی بیشتر است که همین موضوع سبب افزایش هزینه‌ها می‌گردد و افزایش هزینه هیچگاه در صنعت با استقبال مواجهه نمی‌شود(۲۲). افت فشار در شستشودهنده تر پر شده با حلقه راشیگ بیشتر از افت فشار در ستون پرشده با پی‌وی‌سی است. با افزایش گذر حجمی هوا در هر دو نوع ماده پرکننده افت فشار ستون افزایش می‌یابد. در واقع در گذر حجمی ۱۵ لیتر بر ثانیه بیشترین میزان افت فشار ستون پرشده در هر دو نوع بستر پرکننده وجود دارد. در ستون پرشده با هر دو نوع پرکننده، با افزایش میزان گذر حجمی هوا افت فشار به طور معنی‌دار باp-value کمتر از ۰/۰۰۱ افزایش می‌یابد.

مقایسه آماری افت فشارهای متناظر نشان داد که افت فشار ستون پرشده با حلقه‌های راشیگ در هر گذر

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

حجمی از افت فشار آن در حالتی که با پی‌وی‌سی پر شده است به طور معنی‌داری بیشتر است. در مقایسه افت فشارهای متناظر در گذر حجمی هوای ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه میانگین افت فشار در ستون پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی به ترتیب ۴۸/۷٪، ۸۶٪ و ۱۱۲/۳٪ بالاتر از نوع پی‌وی‌سی است.

## نتیجه‌گیری

ستون پر شده با حلقه‌های راشیگ سرامیکی راندمان حذف آمونیاک بیشتری نسبت به ستون پرشده با پی‌وی‌سی دارد، با افزایش تراکم ورودی گاز آمونیاک راندمان حذف ستون پرشده با هر دو نوع پرکننده مورد مطالعه افزایش می‌یابد که این افزایش در بستر پر شده با حلقه‌های راشیگ بیشتر است، ستون‌های پر شده با پی‌وی‌سی افت فشار کمتری از ستون‌های پر شده با حلقه‌های راشیگ دارد، نوسانات افت فشار در اثر افزایش گذر حجمی هوا در بستر پرشده با پی‌وی‌سی بسیار کمتر از بستر پر شده با حلقه‌های راشیگ می‌باشد، ستون پر شده باحلقه‌های راشیگ سرامیکی با وجود راندمان حذف گاز آمونیاک بالاتر سبب ایجاد افت فشار بیشتر نسبت به نوع پی‌وی‌سی می‌گردد. افت فشار بیشتر سبب افزایش هزینه‌ها می‌شود که مورد استقبال در صنایع نیست و توصیه می‌شود از پی‌وی‌سی به جای حلقه‌های راشیگ استفاده شود.

## تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان‌نامه سرکار خانم لیلا امیدی به راهنمایی آقای دکتر محمدجواد جعفری استخراج شده است.

شایان ذکر است پایان‌نامه فوق بخشی از یک طرح مصوب پژوهشی بود که توسط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی حمایت مالی گردید. بدین وسیله از این دانشگاه تقدیر و تشکر می‌شود.

## منابع

۱. Department of health and human services. Niosh pocket guide to chemical hazards. ۲۰۰۵; Available from: www.cdc.gov/niosh. Accessed Jan ۱٤, ۲۰۱۲.
۲. Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR), Medical management guidelines for ammonia, Available from: www.atsdr.cdc.gov/mmg/mmg. Accessed ٥, ۲۰۱۱.
۳. Phillips J. Control and pollution prevention options for ammonia emissions: VIGYAN, Inc, Vienna, VA (United States) ۱۹۹٥: ٥۰-٥.
٤. Gamisans X, Sarrà M, Lafuente FJ. Gas pollutants removal in a single-and two-stage ejector–venturi scrubber. Journal of hazardous materials. ۲۰۰۲; ۹۰(۳): ۲٥۱-٦٦.
٥. Zhang Y. Indoor air quality engineering: CRC press Baco Raton, FL, ۲۰۰٥: ٤۱٤.
٦. Chungsiriporn J, Bunyakan C, Thepchai R. Ammonia Removal from Emission Air in Packed Column. Proceedings of The Fourth PSU Engineering Conference; Songkhla,Thailand, ۲۰۰٥; ۸-۹: ٤۹-٥۳.
۷. Márki E, Lenti B, Vatai G, Békássy-Molnár E. Clean technology for acetone absorption and recovery. Separation and purification technology. ۲۰۰۱; ۲۲: ۳۷۷-۸۲.
۸. INTALOX. Packed tower systems. Plastic random packing. Bulletin KGPP-۱,۲M۰٥۰EE, Available from: www.koch-glitsch.com. Accessed Jan ۱۰, ۲۰۱۲.
۹. MONROE. Liquid Clarification Air/Gas Cleaning Systems. Michigan ٤۸۱٦۱. ۲۰۰۹; Available from: www.mon-env.com. Accessed Jan ۱٥, ۲۰۱۲.
۱۰. Hand DW, Crittenden JC, Gehin JL, Lykins BW. Design and evaluation of an air-stripping tower for removing VOCs from groundwater. Journal of the American Water Works Association. ۱۹۸٦; ۷۸(۹): ۸۷-۹۷.

[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]

۱۱. Richards JR. Control of Particulate Emissions (APTI Course ٤١٣). U.S. Environmental Protection Agency (EPA); ۱۹۹٥. Available from:http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET. Accessed ۱, ۲۰۱۱.

۱۲. Strigle RF. Random packings and packed towers: design and applications. ۱۹۸۷: ٦۹.

۱۳. Jafari MJ, Ghasemi R, Mehrabi Y, Yazdanbakhsh AR, Hajibabaei M. Influence of liquid and gas flow rates on sulfuric acid mist removal from air by packed bed tower. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. ۲۰۱۲; ۹(۱): ۲۰.

۱٤. El-Halwagi MM. Pollution prevention through process integration: systematic design tools: Academic press; ۱۹۹۷:۱۸-۸۷.

۱٥. ACGIH: Industrial ventilation a manual of practice Cincinnati, Ohio. USA: American conference of industrial hygienists; ۲۰۱۰.

۱٦. Jafari MJ, Haj Babaei M, Yazdanbakhsh AR, Mehrabi Y, Ghasemi R, Kazempour M. The Role of Packing Media in a Scrubber Performance Removing Sulfuric Acid Mists. International Journal of Occupational Hygiene. ۲۰۱۲; ٤(۲): ۲٦-۳۱.

۱۷. Chungsiriporn J, Bunyakan C, Nikom R, editors. Treatment of toluene using wet scrubber with sodium hypochlorite oxidation reaction. Proceedings of the PSU-UNS international conference on engineering and environment-ICEE-۲۰۰٥, Novi Sad, Italy T۱۱-۳۱; ۲۰۰٥.

۱۸. Aguilar M, Abaigar A, Merino P, Estellés F, Montalvo G, Piñeiro C, Calvet S. Effect of water scrubbing on ammonia emission from a gestating sows building in the south of Europe. Production technologies towards sustainability of livestock units, ۲۰۰۸-۲۰۰۹.

۱۹. Melse R, Ogink N. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. Transactions of the ASAE. ۲۰۰٥; ٤۸(٦): ۲۳۰۳-۱۳.

۲۰. Perry RH, Green DW, Maloney JO. Perry's chemical engineers' handbook. New York: McGraw-Hill, ۱۹۹۷: ۷٥.

۲۱. Environmental protection agency (EPA). Wet-Film (Packed Tower) Scrubbers; ۱۹۹۸. Available from: www. yosemite.epa.gov/oaqps/eogtrain.nsf.gov. Accessed ٥, ۲۰۱۲: ۱-۱٥.

۲۲. Wang LK, Pereira NC, Hung YT. Air pollution control engineering. New Jersey: Humana Pr Inc; ۲۰۰٤: ۱۹۸.

۲۳. Yap LJ. Evaluation of wet scrubber systems [dissertation]. Southern Queensland: University of Southern Queensland, ۲۰۰٥: ۱-۳۰.

۲٤. Theodore L. Air Pollution Control Equipment Calculations. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; ۲۰۰۸: ۱۲۰-٤۳.


[ Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-11 ]