بررسی جذب سطحی فاضلاب‌های حاوی فرمالدئید بر روی موی انسان

امیر رضا طلایی[1]، مرضیه باقری[2]، سمیرا قطبی نسب[3]، محمدرضا طلایی[4]

چکیده

مقدمه: یکی از ترکیبات آلاینده که می‌تواند در فاضلاب‌های صنعتی وجود داشته باشد، فرمالدئید است. جذب بیولوژیکی این ترکیب تا غلظت‌های کم به دلیل خاصیت ضد باکتری فرمالدئید بسیار مشکل است، ولی حذف آن توسط جاذب‌ها امکان پذیر است. هدف اصلی در این مطالعه بررسی جذب فرمالدئید به کمک یک جاذب طبیعی (موی انسان) است. موی انسان جاذبی کم هزینه است و به سادگی توسط روشی نظیر خاکستر سازی، قابل دفع می‌باشد. همچنین بررسی تأثیر پارامترهای مهم بر جذب این ماده توسط موی انسان نیز در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت.

روش‌ها: در این مطالعه در شرایط آزمایشگاهی، فاضلاب آلوده به فرمالدئید با غلظت و حجم معین در تماس با موی انسان قرار گرفت. با کمک اندازه‌گیری مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) فاضلاب قبل و بعد از تماس، درصد جذب فرمالدئید از محیط مشخص گردید. در این بررسی مقادیر بهینه pH، دما و زمان ماند نیز با کمک روش یک عامل در زمان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده نشان داد که امکان جذب فرمالدئید توسط موی انسان وجود دارد. همچنین مشخص گردید که افزایش زمان ماند تا ۱۵ ساعت می‌تواند منجر به افزایش راندمان جذب گردد. بهترین pH جهت جذب حداکثر فرمالدئید، برابر با ۷ بود و در نهایت افزایش دما نیز منجر به افزایش مقدار جذب فرمالدئید می‌گردید.

نتیجه‌گیری: فرآیند جذب فرمالدئید توسط موی انسان از نوع جذب شیمیایی می‌باشد. در این تحقیق مشخص شد که با کمک موی انسان می‌توان در شرایط بهینه با راندمان به نسبت بالایی فرمالدئید موجود در محیط را از فاضلاب حذف نمود.

واژه‌های کلیدی: فرمالدئید، جذب، مو، فرمالین، فاضلاب.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۸۹/۶/۱۱ *پذیرش مقاله: ۸۹/۷/۱۵*

مقدمه

امروزه فاضلاب‌های تولیدی توسط صنایع گوناگون منجر به آلودگی شدید محیط زیست شده است. در این میان برخی از صنایع، فاضلاب‌هایی حاوی ترکیبات بسیار خطرناک تولید می‌کنند که بررسی روش‌های مختلف تصفیه و بی‌خطر سازی آن‌ها، بسیار مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. فرمالدئید (Formaldehyde) یکی از ترکیبات سمی و خطرناک موجود در فاضلاب برخی از صنایع است که تصفیه بیولوژیکی آن بسیار پیچیده است. بخار فرمالدئید گازی است با بویی تند و زننده که تحریک کننده پوست و مخاط چشم است و عوارضی چون اختلالات تنفسی به صورت آسم و سرطان‌زایی در سیستم تنفسی حیوانات آزمایشگاهی ایجاد کرده است و

۱- عضو هیات علمی، گروه مهندسی عمران- محیط زیست، موسسه آموزش عالی جامی، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)
Email: atalaie@jami.ac.ir
۲- کارشناس ارشد و عضو هیأت علمی، گروه مهندسی صنایع شیمیایی، مؤسسه آموزش عالی جامی، اصفهان، ایران.
۳- کارشناس، گروه مهندسی صنایع شیمیایی، مؤسسه آموزش عالی جامی، اصفهان، ایران.
۴- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]
www.mui.ac.ir

احتمال سرطان‌زایی آن برای انسان، زیاد است. فرمالدئید در پسآب صنایع چسب سازی، شیمیایی، پتروشیمی و ... تولید می‌گردد و دارای فرمول شیمیایی CH_2O است (۱). این صنایع فاضلابی با غلظت‌های بیش از ۱۰ میلی گرم در لیتر، فرمالدئید تولید می‌کنند (۲). در رتبه‌بندی اثرات زیست محیطی، ۴۵ ماده شیمیایی مضر توسط ادواردز و همکاران تقسیم‌بندی شده‌اند. در این میان فرمالدئید در رتبه اول قرار گرفته است (۳). همچنین سمیت و سرطان‌زایی آن در تعدادی از مطالعات به اثبات رسیده است (۵، ۴). محلول ۰/۵ درصد فرمالدئید، به عنوان یک ماده گندزدا، قادر به از بین بردن میکروارگانیسم‌ها در یک دوره زمانی ۶ الی ۱۲ ساعته می‌باشد (۶). به همین دلیل تصفیه بیولوژیکی فرمالدئید دشوار است. در بسیاری از صنایع، فاضلاب‌های حاوی فرمالدئید را در لاگون‌هایی جمع‌آوری و به مرور زمان تبخیر می‌کنند که این عمل موجب ورود فرمالدئید به هوا و آلودگی مجدد هوا می‌گردد (۸).

استفاده از جاذب‌ها در این بین می‌تواند راهکار مناسبی جهت حذف و بی‌خطر سازی فاضلاب‌های حاوی ترکیبات بسیار سمی همچون فاضلاب‌های حاوی فرمالدئید باشد (۷). در طی فرایند جذب سطحی، مواد بر روی سطح جامد به صورت فاز جذب شده تجمع می‌یابند و به این ترتیب از محلول جدا می‌گردند.

جذب روی یک سطح جامد به علت نیروی جاذبه بین گروه‌های عاملی موجود در سطح جامد و مولکول‌های ماده جذب شده است. بنابراین شدت جذب بستگی به طبیعت ماده جذب شده و جسم جاذب دارد (۷). این فرایند را می‌توان هم در جداسازی از فاز گاز و هم در جداسازی از فاز مایع به کار گرفت. رطوبت‌زدایی و بوزدایی هوا و دیگر گازها، جداسازی ناخالصی‌ها از گازهای صنعتی مثل دی‌اکسیدکربن، بازیابی حلال‌های پرارزش از مخلوط رقیق آن‌ها با هوا یا گازهای دیگر و جداسازی ترکیبات سنگین‌تر از گاز طبیعی، مثال‌هایی از فرآیند جذب سطحی در جداسازی گازها می‌باشند.

از فرآیندهای جداسازی مایع می‌توان به رطوبت زدایی بنزین، رنگ زدایی محصولات نفتی و محلول‌های آبکی قندی، بوزدایی و طعم‌زدایی آب و جداسازی هیدروکربن‌های آروماتیکی و پارافینی اشاره نمود.

جامدهای جاذب اغلب به شکل گرانول (ذرات کروی شکل با قطر چند میلی متر) یا به صورت پودری مصرف می‌شوند و قطر آن‌ها از ۱۲ میلی متر تا ۵۰ میکرومتر متغیر است. این مواد توانایی جذب ناخالصی‌های موجود در یک گاز و یا یک مایع را دارند.

ویژگی‌های یک جاذب مناسب به شرح زیر می‌باشند:

۱. میزان جذب بالا در محیط،
۲. توانایی در دفع مواد جذب شده در دمای بیش از دمای محیط (دمای دفع نباید بیش از حد زیاد باشد)،
۳. در صورتی که جذب به همراه واکنش شیمیایی باشد و باعث تغییر ماهیت شیمیایی ماده جاذب گردد، خاصیت آلایندگی ماده تولید شده بسیار کمتر از خاصیت آلایندگی ماده جذب شونده باشد و سرعت واکنش نیز در دماهای معمولی (محیط) مناسب باشد (۷).

میزان جذب یک ماده بر روی یک جاذب، تابع عوامل متعددی است. این عوامل عبارت از میزان و کیفیت سطح تماس، دما، غلظت و نوع جذب شونده هستند. جاذب‌های مهم در صنعت دارای سطح تماس تا m^2 ۱۰۰۰ به ازای هر گرم از ماده جاذب می‌باشند. این میزان سطح تماس تنها هنگامی میسر خواهد شد که جاذب دارای ساختمان متخلخل باشد. همچنین شبکه تخلخل به گونه‌ای باشد که دسترسی ماده جذب شونده به تمامی نقاط درونی جاذب فراهم گردد (۷).

پیش از این، در تصفیه فاضلاب از فرآیند جذب سطحی به طور گسترده استفاده نمی‌شد، اما امروزه به دلیل نیاز روزافزون به افزایش کیفیت پساب تصفیه شده، فرایند جذب سطحی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. تصفیه فاضلاب با مواد جاذب را یک فرآیند تصفیه نهایی تلقی می‌کنند که روی آبی که در گذشته در معرض تصفیه بیولوژیکی متعارف قرار گرفته است، اعمال می‌شود. در این حالت برای جداسازی بخشی از مواد آلی محلول باقیمانده، از مواد جاذب استفاده می‌شود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]
www.mui.ac.ir

امروزه تحقیقات زیادی برای به کارگیری مواد مختلف طبیعی به خصوص ضایعات تولیدی توسط فعالیت انسان‌ها به عنوان مواد جاذب انجام شده است. این گونه مواد می‌توانند با تأثیری نزدیک به کربن فعال و بسیار ارزان قیمت‌تر از آن باشند. به طور مثال سمرقندی و همکاران در مطالعه خود به بررسی استفاده از خاک اره درخت راجی جهت حذف کرم از محیط پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود به بررسی تأثیر pH، زمان تماس، مقدار ماده جاذب و غلظت اولیه کرم پرداختند (۱۰).

درویشی و همکاران نیز از لجن بیولوژیکی به عنوان یک ماده جاذب استفاده نمودند و موفق به جذب کادمیوم از فاضلاب به کمک آن شدند (۱۱). صمدی و همکاران از استخوان زغال شده در جذب فلوئور از آب آشامیدنی بهره جستند و دریافتند که میزان حذف فلوئور در آب، به پارامترهای زمان ماند، سایز ذرات استخوان و pH محلول بستگی دارد (۱۲). رحمانی و همکاران نیز به مقایسه کارایی سه نوع خاک اره به عنوان جاذب ارزان قیمت در حذف ارسنیک و سیانید از پساب پرداختند؛ آن‌ها در مطالعه خود موفق به حذف ۸۳ درصد سیانید با کمک خاک اره درخت صنوبر و ۹۶ درصد ارسنیک با کمک خاک اره درخت راجی شدند (۱۳).

ارمی نیز در تحقیق خود با کمک کربن فعال شده، که از الیاف نارگیل تولید نموده بود، موفق به جذب فلز سنگین نیکل شد. در تحقیق وی مشخص شد که میزان جذب به شدت به pH وابسته است و بیشترین جذب در pH برابر با ۴ ایجاد می‌گردد (۱۴).

مطالعه حاضر تحقیقی کاربردی بود و هدف اصلی از انجام آن، بررسی میزان جذب فرمالدئید (به عنوان یک آلاینده خطرناک صنعتی) توسط موی انسان به عنوان یک جاذب ارزان قیمت می‌باشد. در این مطالعه پس از تولید فاضلاب حاوی فرمالدئید در شرایط آزمایشگاهی، توانایی جذب فرمالدئید توسط موی انسان و برخی از عوامل مؤثر برآن مورد بررسی دقیق قرار گرفت.

روش‌ها

۱- تولید فاضلاب مصنوعی

در این مطالعه برای بررسی جذب فرمالدئید بر روی موی انسان از مخلوط آب مقطر و فرمالدئید ۳۷ درصد ساخت کارخانه مرک آلمان استفاده گردید. برای تولید فاضلاب، از مقدار یک میلی لیتر فرمالدئید در یک لیتر آب مقطر استفاده شد. میزان آلودگی ناشی از فرمالدئید وارده به آب مقطر، بر حسب میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) برابر ۳۷۰ میلی گرم در لیتر بود.

۲- بررسی تأثیر زمان ماند هیدرولیکی بر روی جذب فرمالدئید

در این مطالعه از زمان‌های ماند ۰/۳، ۰/۵، ۲، ۵، ۱۵ و ۲۴ ساعت جهت بررسی تأثیر زمان ماند هیدرولیکی بر روی قابلیت جذب فرمالدئید توسط موی انسان استفاده گردید. برای انجام این آزمایش‌ها، مقدار ۲/۵ گرم از موی انسان پس از شستشو با اسید سولفوریک رقیق ۳۰ درصد و آبکشی با آب مقطر، به یک بشر ۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۲۰۰ میلی لیتر فاضلاب حاوی فرمالدئید وارد گردید. به ازای هر زمان ماند مورد بررسی، یک بشر با شرایط فوق مهیا گردید. برای هر بشر نیز یک نمونه شاهد با همان شرایط و فقط بدون اضافه نمودن مو آماده شد. این آزمایش در دمای آزمایشگاه (۲۰ الی ۲۵ درجه سانتی گراد) و pH خنثی انجام پذیرفت. پس از طی مدت زمان ذکر شده برای هر آزمایش نمونه‌ها با کمک آزمایش COD مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج به دست آمده ثبت گردید (۸).

۳- بررسی تأثیر تغییرات pH بر روی جذب فرمالدئید

در این مطالعه برای تعیین تأثیر pH بر روی میزان جذب فرمالدئید توسط موی انسان سه pH برابر با ۳، ۷ و ۱۲ انتخاب گردید. برای این منظور به سه بشر ۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۲/۵ گرم موی انسان، ۲۰۰ میلی گرم فاضلاب مصنوعی حاوی فرمالدئید اضافه گردید. زمان ماند در تمامی نمونه ثابت و برابر با ۰/۸۵ ساعت (۳۵ دقیقه) بود. برای تنظیم pH در این مطالعه، از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم استفاده گردید. این

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]

www.mui.ac.ir

بخش از آزمایش نیز در دمای آزمایشگاه انجام پذیرفت. در نهایت به کمک آزمایش COD مقدار کاهش فرمالدئید در محیط که ناشی از جذب بر موی انسان بود مشخص شد.

۴- بررسی تأثیر دما برروی جذب فرمالدئید

جهت تعیین تأثیر دما بر میزان جذب ۵ عدد بشر ۲۵۰ میلی لیتری حاوی مقدار ۲/۵ گرم مو و ۲۰۰ میلی لیتر فاضلاب حاوی فرمالدئید آماده گردید. به همان تعداد نیز نمونه شاهد با همان شرایط ولی بدون مو آماده شد. هر یک از بشرها برای مدت زمان ۵۰ دقیقه در یکی از دماهای مورد بررسی قرار گرفتند. دماهای مورد بررسی در این مطالعه عبارت از ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۹۰ درجه سانتی گراد بودند. مقدار pH در این بخش از آزمایش برابر با ۷ در نظر گرفته شد. در پایان به کمک روش COD مقدار فرمالدئید جذب شده مشخص گردید.

۵- روش‌های آزمایش

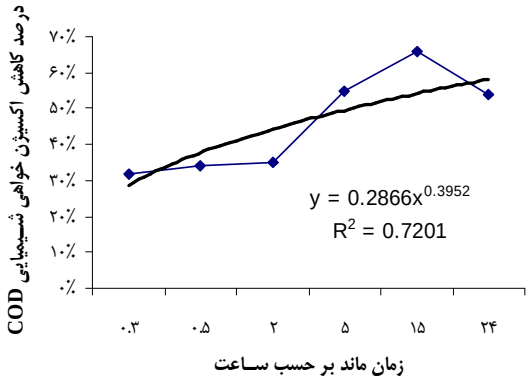
در این تحقیق جهت تعیین میزان pH از pH متر دیجیتال استفاده گردید. برای تعیین میزان COD موجود در محیط هم از روش تقطیر باز استفاده شد (۹). برای ثابت نگهداشتن دما نیز از دستگاه بن ماری استفاده گردید که با کمک حرارت غیر مستقیم قادر به کنترل دمای محیط بود. فرمالدئید استفاده شده غلظت ۳۷ درصد داشت و ساخت کارخانه مرک آلمان بود. همچنین جهت بررسی‌های آماری در این مطالعه از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

یافته‌ها

همان‌گونه که عنوان شد در این تحقیق به بررسی اثر پارامترهایی نظیر زمان ماند، pH و دما بر روی میزان جذب پرداخته شده است که در ادامه نتایج حاصل از این بررسی‌ها ارایه می‌گردد.

۱- تأثیر زمان ماند بر جذب فرمالدئید

شکل ۱ تغییرات میزان حذف فرمالدئید را بر حسب زمان ماند نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص شده است، با افزایش مقدار زمان ماند هیدرولیکی از ۰/۳ ساعت به ۲ ساعت، مقدار جذب افزایش چشم‌گیری نداشته است. اما با گذشت زمان و رسیدن آن به مرز ۵ ساعت، مقدار جذب به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. با این وجود افزایش بیش از این مقدار منجر به افزایش چشم‌گیری در راندمان جذب نمی‌گردد. در نمودار نمایش داده شده در شکل ۱ معادله حاصل از برازش خطی میان درصد کاهش COD در زمان‌های ماند مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱: مقدار جذب COD ناشی از فرمالدئید موجود در محیط در زمان‌های ماند هیدرولیکی مختلف

۲- تأثیر دما بر جذب فرمالدئید

نتایج حاصل از آزمایش جذب فرمالدئید در دماهای مختلف و زمان ماند ثابت در شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است افزایش دما منجر به افزایش راندمان جذب فرمالدئید بر روی موی انسان شده است.

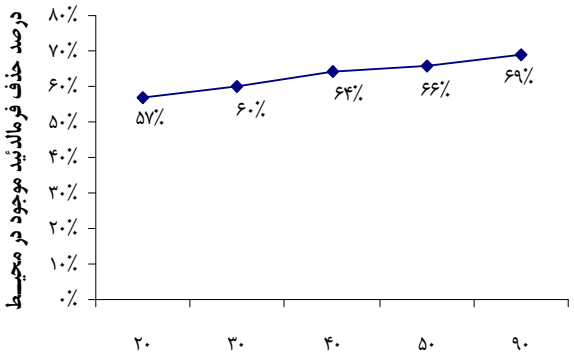
در برازشی که بین تغییرات دما و درصد جذب فرمالدئید صورت گرفت، معادله $y = ۰/۰۳x + ۰/۵۴۲$ با مقدار ضریب همبستگی $R^2 = ۰/۹۹۱۲$ به دست آمد.

۳- بررسی تأثیر pH بر جذب فرمالدئید

در نمودار نمایش داده شده در شکل ۳ تأثیرات pH بر تغییر جذب فرمالدئید به خوبی نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشخص است، pH خنثی بهترین پاسخ را در میزان جذب

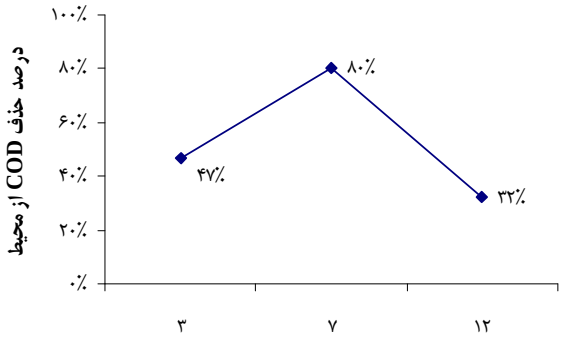
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]
www.mui.ac.ir

فرمالدئید بر روی موی انسان ایجاد می‌نماید. همچنین در شکل ۳ مقدار راندمان جذب فرمالدئید محیط در شرایط بهینه حدود ۸۰ درصد نمایش داده شده است.



تغییرات دما بر حسب درجه سانتیگراد

شکل ۲: تغییرات مقدار جذب فرمالدئید در برابر افزایش دمای محیط



تغییرات pH محیط

شکل ۳: تغییرات جذب فرمالدئید بر روی موی انسان به واسطه تغییر pH محیط

۴- مدل سازی فرایند جذب فرمالدئید

جهت ارایه مدلی برای طراحی سیستم‌های جذب فرمالدئید توسط موی انسان با کمک رگرسیون چند بعدی، مدلی تجربی با سه پارامتر دخیل دما، pH و زمان ماند در زیر ارایه شده است که در این مدل ضرایب t و T به ترتیب به دما بر حسب درجه سانتیگراد و زمان ماند بر حسب ساعت اشاره دارد. در این مدل μ نماد راندمان فرایند بر حسب درصد است.

$$\mu = ۵۴/۲۲۱ + ۰/۳۷۷T - ۱/۸۷۴pH + ۰/۳۷۱T$$

با توجه به این‌که t یا زمان ماند در معادله فوق برابر با $\frac{V}{Q}$ می‌باشد، با جای‌گذاری آن و حل معادله برای تعیین V (حجم سیستم جاذب) معادله زیر به دست می‌آید:

$$V = \frac{Q(۵۴/۲۲۱ + ۰/۳۷۱t - ۱/۸۷pH - \mu)}{-۰/۳۷۷} \qquad (۱)$$

که در معادله (۱)، پارامتر Q شدت جریان فاضلاب بر حسب متر مکعب بر ساعت و V حجم سیستم حاوی مو بر حسب متر مکعب می‌باشد. همچنین با توجه به استفاده از ۲/۵ گرم مو در ۰/۰۲ متر مکعب فاضلاب حاوی فرمالدئید، می‌توان معادله (۲) را با کمک روش تناسب به دست آورد:

$$H = \frac{۲/۵V}{۰/۰۰۰۲} \qquad (۲)$$

لازم به ذکر است که در معادله (۲)، پارامتر H به مقدار موی مورد نیاز برای تصفیه حجم خاصی از فاضلاب حاوی فرمالدئید بر حسب گرم اشاره دارد. با جایگزینی معادله (۱) با پارامتر V در معادله (۲)، معادله (۳) برای تعیین مقدار گرم موی مورد نیاز برای تصفیه مقدار مشخصی از فاضلاب به دست می‌آید:

$$H = \frac{۲/۵\left[\frac{Q(۵۴/۲۲۱ + ۰/۳۷۱t - ۱/۸۷pH - \mu)}{-۰/۳۷۷}\right]}{۰/۰۰۰۲} \qquad (۳)$$

با ساده نمودن معادله (۳)، معادله (۴) حاصل می‌شود که با

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]

www.mui.ac.ir

جایگزینی پارامترهای موجود در آن با توجه به شرایط فاضلاب، می‌توان وزن موی مورد نیاز برای تصفیه حجم مشخصی از فاضلاب حاوی فرمالدئید را بر حسب گرم محاسبه نمود.

(۴)
$$H = ۱۲۵۰۰ \times \left[\frac{Q(۵۴/۲۲۱ + ۰/۳۷۱t - ۱/۸۷\,pH - \mu)}{-۰/۳۷۷} \right]$$

بحث

امروزه جاذب‌های مختلفی جهت کاهش آلودگی‌های مختلف در فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه به بررسی یک جاذب طبیعی ارزان قیمت به نام موی انسان در حذف فرمالدئید از فاضلاب پرداخته شد. در این مطالعه مشخص گردید که موی انسان یک جاذب خوب برای کاهش غلظت فرمالدئید موجود در محیط است. این جاذب می‌تواند بدون نیاز به آماده سازی اولیه (همچون فرایند تولید کربن فعال) جهت جذب فرمالدئید به کار گرفته شود. موی انسان یکی از جاذب‌های طبیعی ارزان قیمت می‌باشد که به مقدار فراوان در نقاط مختلف کشور وجود دارد. از این‌رو استفاده از آن می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تصفیه این گونه فاضلاب‌های حاوی فرمالدئید گردد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که امکان حذف حداکثر ۸۰ درصد فرمالدئید محلول در آب توسط موی انسان وجود دارد که راندمان به نسبت قابل قبولی را ارایه می‌دهد.

۱- زمان ماند:

زمان ماند لازم برای رسیدن به حداکثر میزان حذف یکی از مهمترین پارامترها در فرایند جذب سطحی می‌باشد. این زمان ماند در بسترهای ثابت توسط طول بستر و در مخازن همزده توسط حجم مخزن تأمین می‌شود. بنابراین در طراحی دستگاه‌های مورد استفاده در جذب سطحی، زمان ماند با اهمیت می‌باشد (۷). به همین دلیل در این تحقیق زمان ماند مناسب نیز مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است مقدار جذب فرمالدئید در زمان‌های مابین ۵ ساعت الی ۲۴ ساعت با صرف نظر از خطاهای احتمالی، تا حدودی ثابت مانده است و مقدار جذب در این محدوده با گذشت زمان افزایش نمی‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل اشباع شدن ساختار مو از فرمالدئید جذب شده باشد. بنابراین در کاربردهای صنعتی توصیه می‌گردد زمان ماند برای ایجاد راندمان مناسب کمتر از ۵ ساعت در نظر گرفته شود، زیرا افزایش زمان ماند در جذب فرمالدئید توسط موی انسان بیش از ۵ ساعت در غلظت به کار گرفته شده در این آزمایش (COD برابر با ۳۷۰ میلی گرم در لیتر)، منجر به افزایش چندانی در راندمان جذب نخواهد شد.

برخی از محققین دیگر نیز به اهمیت زمان ماند در جذب حداکثر مواد آلاینده اشاره نموده‌اند. به طور مثال سمرقندی و همکاران در مطالعه خود بیان نمودند که افزایش زمان ماند و دوز جاذب باعث افزایش میزان جذب آلاینده بر روی جاذب شده است (۱۰).

۲- دما

دما می‌تواند بر روی میزان جذب بسیار مؤثر باشد. چنانچه در سطور پیش گفته شد، فرایند جذب می‌تواند به دو صورت جذب فیزیکی و جذب شیمیایی صورت پذیرد. افزایش دما به طور معمول منجر به کاهش فرآیند جذب فیزیکی می‌شود، اما سرعت فرآیند جذب شیمیایی را افزایش می‌دهد (۷).

نتایج این مطالعه که در شکل ۲ نمایش داده شده است، حاکی از آن است که افزایش دما می‌تواند منجر به افزایش جذب گردد. افزایش مقدار جذب فرمالدئید در محیط در اثر افزایش حرارت، نمادی از انجام فرآیند جذب شیمیایی در مو است. اما نکته مهمی که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد، برگشت پذیری این فرآیند به منظور استفاده مجدد از جاذب مو می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که توسط فرآیند حرارتی امکان احیاء مو وجود ندارد. این نکته می‌تواند به افزایش هزینه‌های حاصل از جذب فرمالدئید توسط موی انسان به دلیل عدم امکان بازیافت آن منجر گردد. لازم به ذکر است که در جاذب‌هایی که فرایند جذب فیزیکی در آن‌ها

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]

www.mui.ac.ir

صورت می‌گیرد (مانند کربن فعال)، افزایش دما منجر به کاهش میزان جذب و در نهایت خروج ماده آلاینده از جاذب می‌گردد؛ بدین ترتیب با چنین روشی می‌توان دوباره از جاذب در فرایند استفاده نمود (۷).

نتایج این مطالعه نشان داد که این امکان در فرمالدئید جذب شده در مو وجود ندارد. انجام یک واکنش شیمیایی بین ترکیبات تشکیل دهنده موی انسان و فرمالدئید می‌تواند منجر به عدم بازیافت موی مصرفی در جذب گردد. همچنین عدم امکان احیای موی مصرفی، می‌تواند هزینه استفاده از مو در جذب فرمالدئید را تا حدودی افزایش دهد. با توجه به وجود مقدار به نسبت کافی از موی انسان در شهرها و روستاهای کشور، جهت مراکز صنعتی کوچک استفاده از این روش ارزان قیمت، که نیازی به تخصص بالا در کاربرد آن احساس نمی‌گردد، پیشنهاد می‌شود.

pH -۳

تغییرات pH بر روی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی تأثیرگذار است (۸، ۷). این تأثیر در فرآیند جذب (به ویژه فرآیند جذب شیمیایی) نیز ممکن است روی دهد. با این فرضیه، بررسی تأثیر pH بر میزان جذب فرمالدئید با کمک موی انسان مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش‌ها مشخص گردید که مقدار جذب در pH خنثی بسیار بیشتر از pHهای اسیدی و یا قلیایی است. تغییرات شدید میزان جذب با تغییر pH می‌تواند نشان از انجام واکنشی شیمیایی بین فرمالدئید و ترکیبات تشکیل دهنده موی انسان باشد. نوع و مکانیسم واکنش‌های صورت گرفته در هنگام تماس مو و فرمالدئید، می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد. محققینی همچون عسگری و همکاران نیز در مطالعه خود نشان دادند که pH خنثی بهترین راندمان را در جذب آلاینده‌ها دارد (۱۵).

لازم به ذکر است که امکان مقایسه مناسب میان تحقیقات مشابهی که به کمک سایر جاذب‌ها و مواد آلاینده انجام پذیرفته است، وجود ندارد. زیرا در بیشتر این تحقیقات مکانیسم جذب (شیمیایی و یا فیزیکی) مورد بررسی قرار نگرفته است. به این دلیل مقایسه راندمان جذب با تغییر pH، دما و... بدون اطلاع از مکانیسم جذب عمل صحیحی نمی‌باشد.

۴- شرایط تقریبی بهینه

شرایط تقریبی بهینه که در این آزمایش‌ها مشخص شد عبارت از دمای ۹۰ درجه، زمان ماند ۵ ساعت و pH برابر با ۷ بود. لازم به ذکر است که در این مطالعه از روش یک عامل در زمان برای تعیین شرایط بهینه استفاده شده است. اما این روش می‌تواند تا حدودی با خطا همراه باشد و تأثیر سطوح مختلف عوامل گوناگون را نادیده بگیرد. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی بر روی جذب فرمالدئید توسط موی انسان، فرآیند بهینه سازی توسط یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها صورت پذیرد تا اثرات متقابل بین عوامل گوناگون نیز بررسی گردد.

۵- مدل ارایه شده جهت پیش‌بینی مقدار جذب فرمالدئید توسط موی انسان

ارایه راهکارهایی برای کاربردی شدن نتایج مطالعات مختلف پژوهشگران، بسیار با اهمیت است. یکی از راهکارهایی که می‌توان با کمک آن به کاربردی شدن مطالعات مختلف کمک نمود، مدل سازی فرایندهای مورد تحقیق می‌باشد. ارایه معادلات و فرمولاسیون‌هایی برای استفاده مهندسین در طراحی سیستم‌های مورد مطالعه، گامی اساسی در این زمینه محسوب می‌گردد. در این مطالعه در نهایت برای تحلیل ریاضی فرایند جذب فرمالدئید توسط موی انسان با کمک رگرسیون چند بعدی، مدلی تجربی تهیه شد. با کمک این معادله، می‌توان با مشخص بودن راندمان مورد نظر، pH فاضلاب، دمای محیط و شدت جریان فاضلاب ورودی، حجم سیستم و پس از آن مقدار موی مورد نیاز را محاسبه نمود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]

www.mui.ac.ir

References

1. Oliveira SV, Moraes EM, Adorno MA, Varesche MB, Foresti E, Zaiat M. Formaldehyde degradation in an anaerobic packed-bed bioreactor. Water Res 2004; 38(7): 1685-94.
2. Zoutberg GR, Been P. The Biobed EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) system covers shortcomings of the upflow anaerobic sludge blanket reactor in the chemical industry. Water Science and Technology 1997; 35(10): 183-7.
3. Edwards FG, Egemen E, Brennan R, Nirmalakhandan N. Ranking of toxics release inventory chemicals using a Level III fugacity model and toxicity. Water Science and Technology 1999; 39(10-11): 83-90.
4. Grafstrom RC, Curren RD, Yang LL, Harris CC. Genotoxicity of formaldehyde in cultured human bronchial fibroblasts. Science 1985; 228(4695): 89-91.
5. Casteel SW, Vernon RJ, Bailey EM, Jr. Formaldehyde: toxicology and hazards. Vet Hum Toxicol 1987; 29(1): 31-3.
6. Conaway CC, Whysner J, Verna LK, Williams GM. Formaldehyde mechanistic data and risk assessment: endogenous protection from DNA adduct formation. Pharmacol Ther 1996; 71(1-2): 29-55.
7. Tchobanoglous G, Burton FL, Eddy M, Stensel HD. Wastewater engineering. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 1995.
8. Jonidi A, Talaie AR, Jofi S, Mehrabani M. Investigation of form aldehyde degradation using isolated microorganisms from wastewater of chemical industries. Iran Occupational Health 2009; 5(1-2): 47-53.
9. Eaton AD, Franson MA, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water & wastewater. 19th ed. Washington: American Public Health Association; 2003.
10. Samarghandi MR, Azizian S, Shirzad Siboni M, Alijanzade M, Karimi E. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by modified holly awdust: study of equilibrium and kinetics. Proceeding of the 12th National Congress of Environmental Health; Tehran, Iran; 2008.[In Persian].
11. Darvishi R, Shams Gh, Jonidi A, Jorfi S, Salehi S. Evaluation of activator materials on bioabsorption of cadmium by biosolid. Proceeding of the 12th National Congress of Environmental Health, Tehran, Iran; 2008. [In Persian].
12. Samadi MT, Khodabandelo Z, Khodabakhsh F, Kashitarash Z. Investigating fluoride removal from water by using of bone char. Proceeding of the 12th National Congress of Environmental Health, Tehran, Iran; 2008. [In Persian].
13. Rahmani AR, Samadi MT, Ghimali M, Motaghipor H, Mirzaee S. Comparison of arsenic & cyanide removal from effluents by using of holly, sallow and poplar Hamadan sawdust. Proceeding of the 12th National Congress of Environmental Health, Tehran, Iran; 2008. [In Persian].
14. Eramiavval A. Investigation of heavy elements separation (Ni) from wastewater using inorganic (ion exchange resins) and organic (carbon development from coconut fibre). Proceeding of the 12th National Congress of Environmental Health, Tehran, Iran. [In Persian].
15. Vaezi F, Nazmara SH, Asgari AR, Mahvi AH. Granular Ferric Hydroxide (GFH) is adsorbent for Removal of Arsenate and Arsenite in Drinking Water, Proceeding of the 12th National Congress of Environmental Health, Tehran, Iran; 2008. [In Persian].

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]

www.mui.ac.ir

Evaluation of formaldehyde wastewater adsorption on human hair

***Amir Reza Talaie*[1], *MarziehBagheri*[2], *Samira Ghotbinasab*[3], *Mohammad Reza Talaie*[4]**

Abstract

Background: One of the pollutant components that can be observed in many industrial wastewaters is formaldehyde. The biological treatment of the wastewater contaminated by formaldehyde is very difficult due to its antibacterial property. However the removal of formaldehyde using adsorption process is feasible but it may be expensive. The main purpose of this study is to examine the adsorption of formaldehyde in assistance of a natural adsorbent (human hair). Human hair is cheap and it can be disposed by common methods such as incineration. Also finding of the optimum conditions of this process were taken into account.

Methods: In this study, the synthetic wastewater contaminated by formaldehyde in a specified volume and concentration was contacted with human hair for a period of time. The concentration of formaldehyde in the wastewater was measured during the adsorption process using chemical oxygen demand method (COD). Then the optimum values of the parameters such as pH, the temperature and the hydraulic retention time were evaluated by one factor at a time method.

Findings: The findings obtained indicated that formaldehyde can be adsorbed on human hair significantly. Also it was revealed that the increase of hydraulic retention time up to 15 hours could increase the formaldehyde removal efficiency, the optimum values of pH was 7 and unexpectedly rising the temperature increased the amount of formaldehyde adsorbed on human hair.

Conclusion: The attained results from this research showed that the adsorption of the pollutants by natural and cheap adsorption such as human hair is possible. It was also revealed that formaldehyde can be removed from wastewater with a quite high efficiently using human hair as an adsorbent.

Key words: Formaldehyde, Adsorption, Hair, Wastewater.

1- Faculty Member, Department of Civil & Environmental Engineering, Jami Institute of Technology, Isfahan, Iran (Corresponding Author)
Email: atalaie@jami.ac.ir
2- MSc and Faculty Member, Department of Chemical Engineering, Jami Institute of Technology, Isfahan, Iran.
3- BSc, Department of Chemical Engineering, Jami Institute of Technology, Isfahan, Iran.
4- Associate Professor, Department of Chemical Engineering, School of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-06]

www.mui.ac.ir