مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هجدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۲۵۵ تا ۲۶۶

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

ارزیابی پیشرفته تصفیه هوای داخلی توسط گیاهان: مدل‌سازی تأثیر کلروفیتوم کوموسوم و آگلونما سیلور در کاهش بنزن

فرزانه برزآبادی فراهانی[۱]، محمود علی محمدی[۲،۳،۴*]، جمشید رحیمی[۵]، ساناز خرمی پور[۱]، عماد دهقانی فرد[۶]

۱- گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده تحقیقات محیطی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۴- مرکز تحقیقات عدالت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۵- گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
۶- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

واژگان کلیدی: گیاه‌پالایی، تصفیه هوا، آلاینده‌های فرار، پالایش بنزن، کیفیت هوای داخلی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
m_alimohammadi@tums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: بیش از ۹۰ درصد از زمان افراد در فضاهای داخلی سپری می‌شود، جایی که غلظت آلاینده‌های هوا، از جمله ترکیبات آلی فرار (VOCs)، بیشتر از محیط بیرونی است. بنزن به دلیل اثرات سرطان‌زای خود، یکی از مهم‌ترین VOCsها محسوب می‌شود. گیاه‌پالایی روشی پایدار برای حذف این آلاینده‌ها از محیط‌های داخلی است. این مطالعه به بررسی کارایی دو گونه گیاهی Aglaonema silver و Chlorophytum comosum در کاهش غلظت بنزن در شرایط کنترل‌شده دما و رطوبت می‌پردازد.

روش بررسی: گیاهان در شرایط دمایی ۱۸ و ۲۴ °C و رطوبت‌های ۳۵ و ۵۰ درصد مورد آزمایش قرار گرفتند. بنزن در غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ µL/mL به محفظه تزریق شد و میزان کاهش آن پس از ۱۲ h با کروماتوگرافی گازی اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که Aglaonema silver توانست تا ۹۶ درصد و Chlorophytum comosum تا ۳۸ درصد بنزن را در دمای ۲۰ °C و رطوبت ۳۵ درصد حذف کند. حذف بنزن تابعی از نوع گیاه، دما، رطوبت و غلظت آلاینده بود. مدل‌های ارائه‌شده برای هر دو گیاه (معادلات ۲ و ۳) همخوانی بالایی با داده‌های تجربی داشتند.

نتیجه‌گیری: Aglaonema silver در دماهای پایین‌تر و رطوبت کمتر عملکرد بهتری نسبت به Chlorophytum comosum داشت. انتخاب گونه گیاهی متناسب با شرایط محیطی نقش مهمی در کارایی گیاه‌پالایی دارد. مدل پیشنهادی نشان داد که افزایش دما و رطوبت کارایی گیاهان را در حذف بنزن بهبود می‌بخشد.

Please cite this article as: Borzabadi Farahani F, Alimohammadi M, Rahimi J, Khoramipour S, Dehghanifard E. Advanced evaluation of indoor air purification by plants: modeling the impact of Chlorophytum comosum and Aglaonema silver in benzene. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(2):255-66.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

مقدمه

با توسعه جوامع و پیشرفت صنایع، مشکل آلودگی محیط‌های داخلی به طور فزاینده‌ای جدی شده است (۱). بشریت وارد دوره آلودگی سوم شده است که با افزایش آلاینده‌های شیمیایی در فضاهای داخلی مشخص می‌شود (۲). سطوح آلودگی شیمیایی در داخل ساختمان‌ها معمولاً بسیار بیشتر از سطوح خارج ساختمان است (۳). مطالعات نشان داده است که غلظت متوسط آلاینده‌ها در فضاهای داخلی ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از محیط بیرونی است. همچنین، ساختمان‌های تازه بازسازی‌شده می‌توانند تا ۱۰۰ برابر بیشتر از فضای بیرونی، حاوی برخی آلاینده‌ها باشند (۴، ۵). افراد بیش از ۸۰ درصد زمان خود را در داخل ساختمان‌ها سپری می‌کنند (۶) و کیفیت هوای داخلی ارتباط مستقیمی با سلامت عمومی دارد (۶/۷ درصد). پس از شیوع کووید-۱۹، بهبود کیفیت هوای داخلی به یک مسئله جهانی و اولویتی اساسی تبدیل شده است (۷).

بنزن، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در ترکیبات آلی فرار (VOCs)، به دلیل خواص سرطان‌زا و اثرات مضر بر سلامتی انسان توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است (۸). این آلاینده بسیار پایدار است، به‌سختی تجزیه می‌شود و تهدیدی جدی برای سلامت عمومی به‌شمار می‌آید (۹). بنابراین، یافتن روش‌های پایدار و ایمن برای کاهش غلظت این آلاینده در محیط‌های داخلی از اهمیت بسیاری برخوردار است (۱۰). استفاده از گیاهان آپارتمانی برای تصفیه هوای داخلی از دهه ۱۹۸۰ آغاز شد، زمانی که تحقیقات ناسا نشان داد برخی گیاهان قادر به حذف آلاینده‌های هوا هستند. استفاده از گیاهان آپارتمانی یکی از روش‌های نوین و مؤثر برای کاهش آلاینده‌های شیمیایی مانند بنزن از هوای داخلی است. گیاهان علاوه بر جذب دی‌اکسید کربن و تولید اکسیژن، توانایی بالایی در تصفیه هوای داخلی از طریق جذب و تجزیه آلاینده‌ها دارند (۱۱). مطالعه‌ای توسط Gong و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که برخی گیاهان زینتی از جمله کلروفیتوم کوموسوم توانایی بالایی در حذف بنزن از هوای داخلی دارند، که این یافته اهمیت استفاده از گیاهان آپارتمانی در بهبود کیفیت هوای فضاهای بسته را برجسته می‌کند. همچنین مطالعات نشان داده است که تصفیه هوا توسط گیاهان به ترکیب عملکرد گیاه و میکروارگانیسم‌های موجود در ریشه آن‌ها بستگی دارد (۱۲). گیاهان می‌توانند آلاینده‌های هوا را از طریق روزنه‌های برگ و شاخه‌های خود جذب کرده و سپس آن‌ها را با فرآیندهای شیمیایی مانند اکسیداسیون-کاهش به مواد غیرسمی تبدیل کنند (۱۳).

تکنولوژی اصلاح اکولوژیکی توسط گیاهان داخلی، به عنوان یک روش پایدار و طبیعی برای کاهش آلاینده‌های شیمیایی داخلی مطرح شده است. میزان تصفیه و حذف آلاینده‌ها توسط گیاهان داخلی، ظرفیت آن‌ها را در حذف آلاینده‌هایی مانند بنزن نشان می‌دهد و مبنایی برای انتخاب گیاهان مناسب جهت بهبود کیفیت هوای داخلی است (۱۴).

با وجود مطالعات متعددی که در زمینه تصفیه آلاینده‌ها توسط گیاهان انجام شده است، اطلاعات جامعی در مورد مقایسه ظرفیت تصفیه گیاهان مختلف وجود ندارد (۱۵، ۱۶). این مطالعه به منظور ارزیابی توانایی دو گیاه آپارتمانی پرکاربرد در ایران، آگلونما سیلور (Aglonema silver) و کلروفیتوم کوموسوم (Chlorophytum comosum)، در کاهش غلظت بنزن از هوای داخلی انجام شده است. این مطالعه، ظرفیت این دو گیاه را در حذف بنزن از هوای آلوده در غلظت‌های مختلف بررسی کرده است تا مبنایی نظری برای انتخاب گیاهان تصفیه‌کننده در فضاهای داخلی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

گیاهان مورد آزمایش

دو گیاه آپارتمانی مقاوم در برابر آلاینده‌های داخلی، کلروفیتوم کوموسوم و آگلونما سیلور، بر اساس مطالعات پیشین (۱۷) به عنوان نمونه‌های آزمایشی انتخاب شدند. گیاهان در محفظه‌ای با حجم L ۱۰۰۰ قرار گرفتند و شرایط محیطی، از جمله نوع گلدان، اندازه و مقدار خاک، برای همه گیاهان یکسان بود. پیش

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

از شروع آزمایش، گیاهان به مدت دو هفته در محیط آزمایشگاه جهت سازگاری با شرایط آزمایشی قرار داده شدند.

طراحی آزمایش

یک اتاقک از جنس پلکسی گلاس با حجم ۱۰۰۰ L (طول ۱۰۰ cm × عرض ۱۰۰ cm × ارتفاع ۱۰۰ cm) و در سه تکرار طراحی و ساخته شد که به‌طور کامل در برابر نفوذ هوا مهر و موم شده بود. برای ارزیابی توانایی گیاهان داخلی در تصفیه بنزن از هوای داخلی، آزمایش‌ها در چهار غلظت مختلف از بنزن (۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ µL/mL) انجام شد.

مراحل اجرای آزمایش

سه تکرار برای هر گیاه انجام گرفت و گروهی بدون گیاه به عنوان کنترل در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از تأثیر احتمالی جذب بنزن توسط خاک و گلدان‌ها، تمامی گلدان‌ها و خاک‌ها پیش از قرار گرفتن در محفظه با پلاستیک پوشانده و مهر و موم شدند. پس از قرار دادن گیاهان در محفظه، محفظه‌ها بلافاصله با نوار بسته شدند تا تبادل گاز بین محفظه و محیط بیرونی به حداقل برسد (۱۷).

شرایط محیطی

دمای اتاق بین ۱۸ تا ۲۴ °C و رطوبت نسبی بین ۳۵ تا ۵۰ درصد تنظیم شد. دماسنج‌های خشک و مرطوب برای ثبت تغییرات دما و رطوبت داخل محفظه نصب شدند. یک فن کوچک (۲۲۰ V، ۸۰ W) در محفظه تعبیه شد تا جریان هوا و تبادل آلاینده‌ها را تسریع بخشد (۱۷).

تهیه و تزریق بنزن

برای تهیه غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ µL/mL بنزن در اتاقک آزمایش، ابتدا حجم اتاقک مشخص شده و مقدار مورد نیاز بنزن بر اساس معادله ۱ محاسبه شد. سپس، بنزن با استفاده از پمپ گازدهی در محیط پخش شد. پس از تزریق، غلظت بنزن با دستگاه‌های سنجش دقیق پایش شد و تأثیر گیاهان بر کاهش آن در طول زمان بررسی شد.

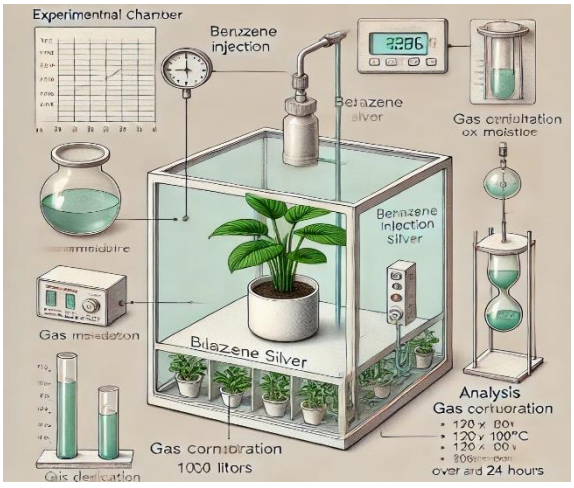
$$C = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

اندازه‌گیری غلظت بنزن

پس از ۱۲ و ۲۴ h از شروع پاک‌سازی، غلظت بنزن داخل محفظه پلکسی گلاس اندازه‌گیری شد. داده‌های مربوط به غلظت بنزن و پارامترهای آزمایشی مرتبط ثبت شدند.

تحلیل آماری

برای تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده، از نرم‌افزار Excel برای گردآوری داده‌های آزمایشی استفاده شد. تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد و برای تحلیل مقایسه‌ای چندگانه از روش دانکن استفاده گردید. نتایج آزمایش‌ها با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه و دوطرفه بررسی شدند (شکل ۱).



شکل ۱- طرح شماتیک فرآیند حذف بنزن توسط گیاهان آپارتمانی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

یافته‌ها

در این مطالعه، عملکرد دو گیاه آپارتمانی آگلونما سیلور و کلروفیتوم کوموسوم در کاهش غلظت بنزن، تحت شرایط دمایی ۲۰ °C و رطوبت ۳۵ درصد طی ۱۲ h مواجهه با غلظت‌های مختلف بنزن (۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ µL/mL) بررسی شد. نتایج نشان داد که آگلونما سیلور در تمامی غلظت‌ها، به‌ویژه در غلظت‌های پایین‌تر، عملکرد بهتری نسبت به کلروفیتوم کوموسوم داشته است (جدول ۱).

در غلظت ۱ µL/mL، گیاه آگلونما سیلور توانست ۷۴/۶ درصد از بنزن را حذف کند و با کاهش غلظت به ۰/۱۲۵ µL/mL، این میزان حذف به ۹۶ درصد افزایش یافت. در مقابل، کلروفیتوم کوموسوم در غلظت ۱ µL/mL تنها ۱۸/۶ درصد از بنزن را کاهش داد و در غلظت ۰/۱۲۵ µL/mL موفق به حذف ۳۰/۴ درصد از بنزن شد.

به‌طور کلی، آگلونما سیلور به‌عنوان گیاهی مؤثرتر در حذف بنزن، به‌ویژه در غلظت‌های پایین‌تر، شناسایی شد. در حالی که کلروفیتوم کوموسوم در غلظت‌های متوسط عملکرد مناسبی داشت، اما در غلظت‌های بالاتر کارایی آن به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. بنابراین، می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مکمل در حذف بنزن مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- حذف بنزن توسط گونه‌های منتخب گیاهی در غلظت‌های مختلف

گونه های منتخب	آلاینده	(µL/mL) ۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۲۵
Aglaonema silver	بنزن	۰/۷٤٦	۰/۲٦۳	۰/۰۹۲	۰/۱۲۰
Chorophytum comosum	بنزن	۰/۱۸٦	۰/۱۳	۰/۰۹٦	۰/۰۳۸

در ادامه، تأثیر دما بر حذف بنزن توسط این دو گیاه آپارتمانی طی ۱۲ h مواجهه بررسی شد. در دمای ۱۸ °C، آگلونما سیلور عملکرد بهتری در غلظت‌های بالای بنزن (۱ و ۰/۵ µL/mL) نشان داد و به ترتیب ۶۹/۶ درصد و ۷۶ درصد بنزن را حذف کرد. با کاهش غلظت بنزن، نرخ حذف کاهش یافت و در غلظت ۰/۱۲۵ µL/mL، میزان حذف به ۲۸ درصد رسید (جدول ۲). در دمای ۲۴ °C، کارایی آگلونما سیلور در غلظت ۱ µL/mL کاهش یافت و تنها ۱۵/۸ درصد بنزن را حذف کرد، اما در غلظت‌های پایین‌تر (۰/۱۲۵ µL/mL)، نرخ حذف به ۵۳/۶ درصد افزایش یافت.

در مقابل، کلروفیتوم کوموسوم عملکرد ضعیف‌تری داشت؛ به ویژه در غلظت‌های بالای بنزن. این گیاه در دمای ۱۸ °C توانست ۲۳/۲ درصد بنزن را در غلظت ۱ µL/mL حذف کند و با کاهش غلظت به ۰/۱۲۵ µL/mL، این میزان به ۲۰ درصد کاهش یافت.

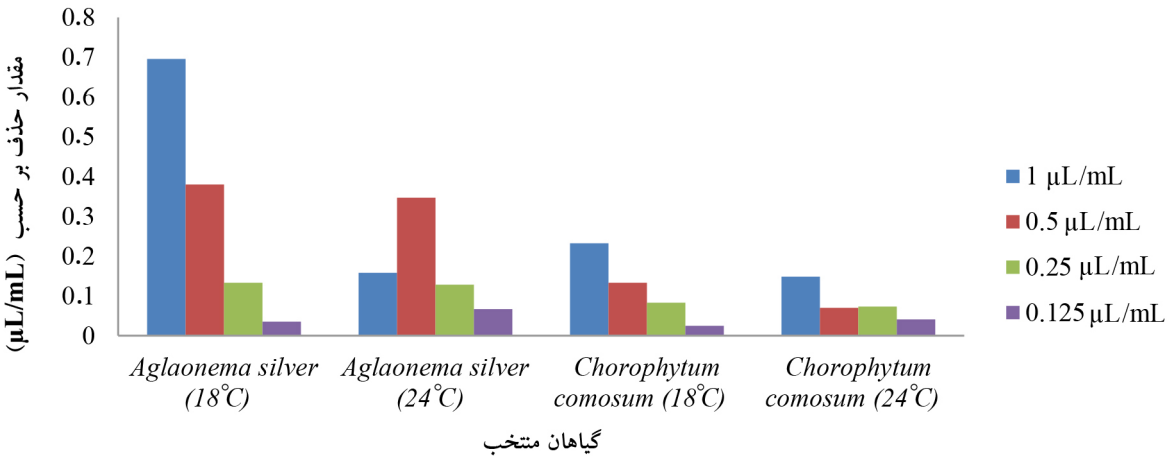
در دمای ۲۴ °C، کارایی این گیاه بیشتر کاهش یافت و در غلظت ۱ µL/mL تنها ۱۴/۸ درصد بنزن را حذف کرد، اما در غلظت ۰/۱۲۵ µL/mL، نرخ حذف به ۳۲/۸ درصد افزایش یافت (شکل ۲).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

جدول ۲- تأثیر دما بر حذف بنزن توسط گیاهان منتخب در غلظت‌های مختلف

گونه های منتخب	درجه حرارت (°C)	۱ µL/mL	۰/۵ µL/mL	۰/۲۵ µL/mL	۰/۱۲۵ µL/mL
Aglaonema silver	۱۸	۰/٦۹٦	۰/۳۸۰	۰/۱۳۳	۰/۰۳۵
Aglaonema silver	۲٤	۰/۱٥۸	۰/۳٤۷	۰/۱۲۸	۰/۰٦۷
Chorophytum comosum	۱۸	۰/۲۳۲	۰/۱۳۳	۰/۰۸۳	۰/۰۲٥
Chorophytum comosum	۲٤	۰/۱٤۸	۰/۰۷	۰/۰۷۳	۰/۰٤۱

در نهایت، تأثیر رطوبت بر کارایی این دو گیاه در حذف بنزن بررسی شد (شکل ۳ و جدول ۳). آگلونما سیلور در رطوبت ۳۵ درصد توانست تا ۸۵/۶ درصد از بنزن را در غلظت‌های پایین (۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ µL/mL) حذف کند. با افزایش رطوبت به ۵۰ درصد، کارایی آن در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت، اما همچنان در حذف بنزن عملکرد مناسبی داشت. در مقابل، کلروفیتوم کوموسوم در رطوبت ۳۵ درصد توانست بنزن را حذف کند، اما با افزایش رطوبت، کارایی این گیاه کاهش یافت.

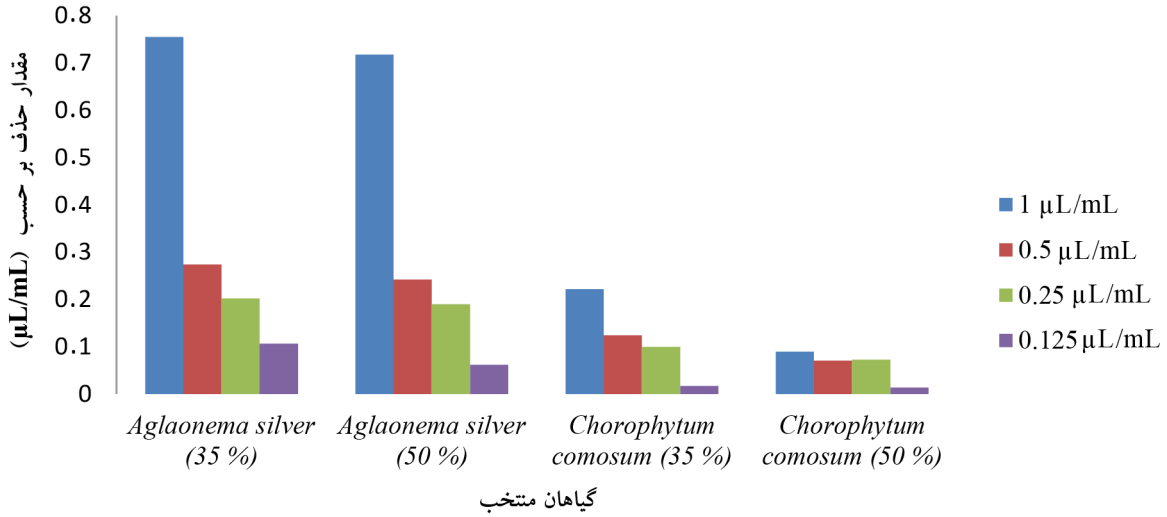


شکل ۲- مقایسه کارایی حذف بنزن توسط گونه‌های آگلونما سیلور و کلروفیتوم کوموسوم در دماهای مختلف (۱۸ و ۲۴ °C) و غلظت‌های مختلف آلاینده

جدول ۳- تأثیر رطوبت بر حذف بنزن توسط گیاهان منتخب در غلظت‌های مختلف

گونه های منتخب	رطوبت	۱ µL/mL	۰/۵ µL/mL	۰/۲۵ µL/mL	۰/۱۲۵ µL/mL
Aglaonema silver	۳۵	۰/۷۵۵	۰/۲۷٤	۰/۲۰۲	۰/۱۰۷
Aglaonema silver	۵۰	۰/۷۱۸	۰/۲٤۲	۰/۱۹	۰/۰٦۲
Chorophytum	۳۵	۰/۲۲۲	۰/۱۲٤	۰/۱	۰/۰۱۷
Chorophytum	۵۰	۰/۰۹	۰/۰۷۱	۰/۰۷۳	۰/۰۱٤

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]



شکل ۳- مقایسه کارایی حذف بنزن توسط گونه‌های آگلونما سیلور و کلروفیتوم کوموسوم در رطوبت‌های مختلف (۳۵ و ۵۰ درصد) و غلظت‌های متفاوت آلاینده‌ها

مدل پیشنهادی

یک مدل برای پیش‌بینی کارایی حذف بنزن توسط دو گونه گیاه آپارتمانی در این مطالعه ارائه شده است. این مدل بر اساس چهار متغیر مستقل شامل غلظت آلاینده (C)، گونه گیاه (P)، دما (T) و رطوبت (H) تعریف شده است. هدف مدل، بررسی تأثیر این عوامل بر میزان حذف بنزن (E) توسط دو گونه گیاهی آگلونما سیلور (P_1) و کلروفیتوم کوموسوم (P_2) است (معادله ۲).

$$E = f(C, P, T, H) \quad (۲)$$

توضیحات متغیرها

غلظت آلاینده (C): میزان غلظت بنزن در چهار سطح مختلف (۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ µL/mL) تعریف شده است.

گونه گیاه (P): دو گونه گیاهی آگلونما سیلور (P_1) و کلروفیتوم کوموسوم (P_2) برای بررسی تأثیر گونه گیاه بر حذف بنزن انتخاب شده‌اند.

دما (T): دما در دو سطح ۱۸ و ۲۴ °C در نظر گرفته شده است. پارامتر دما: در ۲۴ °C مقدار T=۱/۱ و در ۱۸ °C مقدار T=۱ در نظر گرفته شده است.

رطوبت (H): رطوبت در دو سطح ۳۵ و ۵۰ درصد تنظیم شده است. پارامتر رطوبت: در رطوبت ۳۵ درصد مقدار H=۰/۹ و در رطوبت ۵۰ درصد مقدار H=۱ در نظر گرفته شده است.

مدل ریاضی پیشنهادی

برای گونه‌های مختلف گیاهی، معادله‌های مجزا جهت پیش‌بینی میزان حذف بنزن (E) ارائه شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

برای آگلونما سیلور (P_1)، رابطه در معادله ۳ و برای کلروفیتوم کوموسوم (P_2)، رابطه در معادله ۴ ارائه شده است:

آگلونما سیلور: (۳) $E = 1/H \times T \times (0.9/C)$

کلروفیتوم کوموسوم: (۴) $E = (T/H) \times (0.6/C)$

بحث

مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که گیاهان توانایی بالایی در حذف آلاینده‌های آلی فرار، از جمله بنزن، از هوای داخلی دارند. به‌عنوان نمونه، در سال ۲۰۰۴، Orwell و همکاران در مطالعه‌ای نشان دادند که گیاهانی مانند Epipremnum aureum و Tradescantia zebrina می‌توانند بین ۴۰ تا ۵۵ درصد بنزن موجود در محیط‌های بسته را حذف کنند (۱۷). این مطالعه به‌وضوح نقش ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان، مانند سطح برگ و میزان تعرق، در جذب بنزن را نشان داده است. این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر که نشان می‌دهد آگلونما سیلور در غلظت‌های پایین بنزن (۱ و ۰/۱۲۵ µL/mL) کارایی بالاتری نسبت به کلروفیتوم کوموسوم دارد، همخوانی دارد (مطابق مدل ۲).

Yang و همکاران در سال ۲۰۰۹، در مطالعه‌ای بر روی ۲۸ گونه گیاه زینتی نشان دادند که تفاوت در کارایی گیاهان برای حذف بنزن ناشی از تفاوت در ویژگی‌های فیزیولوژیکی، نظیر میزان تعرق و سطح کلروفیل، است (۱۸). گیاهانی با سطح برگ بیشتر و نرخ تعرق بالاتر، همانند نتایج مشاهده شده در این مطالعه، توانایی بیشتری در جذب آلاینده‌ها دارند. در این پژوهش، مدل ارائه شده برای آگلونما سیلور (معادله ۲) و کلروفیتوم کوموسوم (معادله ۴) نشان می‌دهد که میزان حذف بنزن در این دو گونه گیاهی، تابعی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن‌ها است.

مطالعات دیگر، مانند پژوهش Gong (۲۰۱۹)، نیز نشان داده‌اند که گیاهانی نظیر Epipremnum aureum، Chlorophytum comosum و Hedera helix قادر به حذف ۷۲ درصد بنزن در طول h ۷۲ هستند (۱۹). این یافته‌ها تأکید می‌کنند که خواص فیزیولوژیکی گیاهان نقش مهمی در کارایی آن‌ها در حذف بنزن دارد. نتایج مدل‌سازی این پژوهش (معادلات ۳ و ۴) نشان می‌دهد که اگرچه کلروفیتوم کوموسوم در حذف بنزن کارایی کمتری نسبت به آگلونما سیلور داشت، اما همچنان به‌عنوان یک گزینه مؤثر در حذف آلاینده‌ها شناخته می‌شود (۲۰).

علاوه بر این، Lu و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که آگلونما سیلور نسبت به کلروفیتوم کوموسوم در جذب آلاینده‌هایی نظیر بنزن، به‌ویژه در غلظت‌های پایین، عملکرد مؤثرتری دارد. یافته‌های مطالعه حاضر نیز این نتایج را تأیید می‌کند، به‌طوری‌که آگلونما سیلور در شرایط آزمایشی و در غلظت‌های مختلف بنزن، عملکردی پایدارتر و کاراتر نسبت به کلروفیتوم کوموسوم از خود نشان داد (مطابق معادله ۳ و ۴) (۲).

در زمینه تأثیر دما، Song و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که دمای بالاتر باعث افزایش متابولیسم گیاهان و بهبود جذب آلاینده‌ها می‌شود. این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد، که نشان می‌دهد در دمای بالاتر (۲۴ °C)، گیاهان آپارتمانی توانایی بیشتری در حذف بنزن در غلظت‌های پایین‌تر داشتند، در حالی که در دمای پایین‌تر (۱۸ °C)، گیاهان در غلظت‌های بالاتر آلاینده‌ها عملکرد بهتری از خود نشان دادند (مطابق معادله ۴) (۲۱).

همچنین، تأثیر رطوبت بر کارایی گیاهان در حذف بنزن، که توسط Orwell (۲۰۰۴) بررسی شده است، نشان می‌دهد که رطوبت بین ۳۵ تا ۵۰ درصد می‌تواند توانایی گیاهان را در جذب آلاینده‌ها از طریق تعرق افزایش دهد. در مطالعه حاضر نیز مدل کلی ارائه‌شده (معادله ۳) نشان می‌دهد که تغییرات دما و رطوبت تأثیر مستقیمی بر میزان حذف بنزن توسط این دو گونه گیاهی دارد (۱۷).

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش و مطالعات مشابه نشان می‌دهند که عوامل محیطی مانند دما، رطوبت و نور تأثیر مهمی بر کارایی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

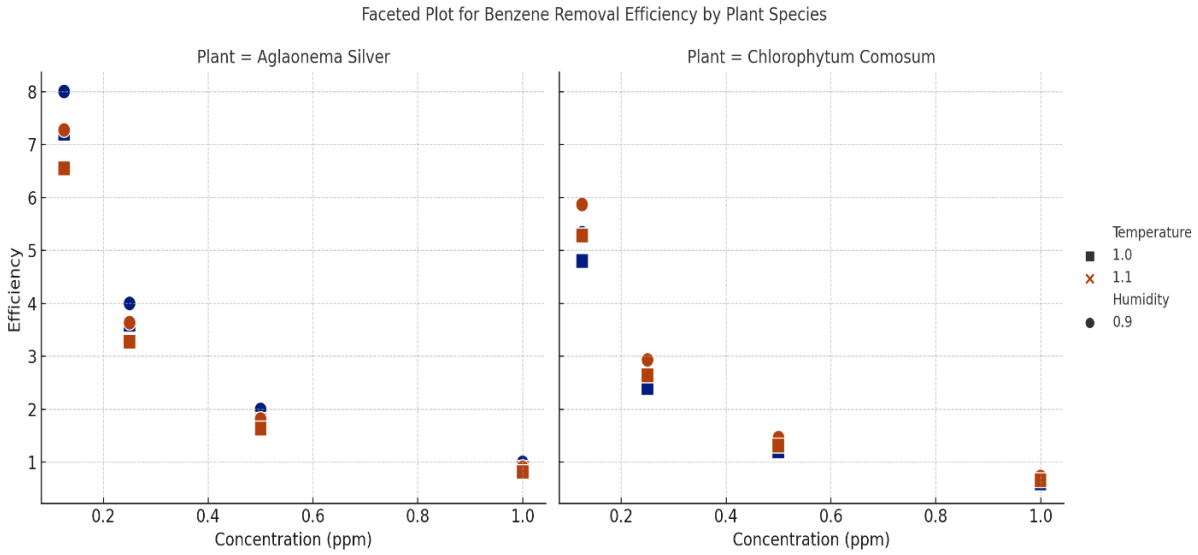
گیاهان در حذف آلاینده‌هایی نظیر بنزن دارند. بهینه‌سازی این شرایط می‌تواند راندمان گیاهان در محیط‌های بسته را افزایش داده و در نتیجه به ارتقای کیفیت هوای داخلی کمک کند (۱).

تحلیل مدل پیشنهادی

این معادله‌ها نشان‌دهنده تأثیر متغیرهای مختلف بر کارایی حذف بنزن هستند. در هر دو معادله، نسبت معکوس غلظت آلاینده (C) به‌وضوح نشان می‌دهد که با کاهش غلظت آلاینده، کارایی حذف بنزن افزایش می‌یابد. همچنین، تأثیر دما و رطوبت به‌گونه‌ای است که تغییرات آن‌ها منجر به تغییرات مستقیم و معکوس در پیش‌بینی کارایی حذف بنزن می‌شود.

برای آگلونما سیلور، رطوبت و دما به‌صورت ضربی و معکوس در مدل لحاظ شده‌اند، در حالی که برای کلروفیتوم کوموسوم، دما و رطوبت به‌صورت مستقیم و نسبت معکوس در معادله اعمال شده‌اند. مدل ارائه شده به‌عنوان یک ابزار ساده برای پیش‌بینی کارایی حذف بنزن در شرایط مختلف محیطی با استفاده از دو گونه گیاه آپارتمانی کاربرد دارد.

دو نقشه حرارتی (Heat Map) برای پیش‌بینی کارایی حذف بنزن توسط دو گونه گیاهی آگلونما سیلور و کلروفیتوم کوموسوم بر اساس دمـا و رطـوبت ارائه شـده اسـت (شکل ۴).



شکل ۴- بررسی کارایی حذف بنزن برای دو گونه گیاهی بر اساس غلظت آلاینده، دما و رطوبت و مقایسه عملکرد آنها

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که گیاهان آگلونما سیلور و کلروفیتوم کوموسوم به‌طور مؤثری می‌توانند غلظت بنزن در فضاهای داخلی را کاهش دهند. از بین این دو گیاه، آگلونما سیلور با کارایی بالاتر در غلظت‌های پایین بنزن، به‌ویژه در شرایط دمایی پایین‌تر (۱۸ °C) و رطوبت ۳۵ درصد، عملکرد بهتری نسبت به کلروفیتوم کوموسوم داشت. این یافته‌ها تأیید می‌کند که انتخاب گیاهان مناسب با توجه به شرایط محیطی مانند دما و رطوبت، تأثیر قابل‌توجهی بر میزان تصفیه آلاینده‌ها دارد. همچنین، مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی کارایی حذف بنزن با در نظر گرفتن متغیرهای غلظت، دما و رطوبت می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کاربردی برای مدیریت کیفیت هوای داخلی مورد استفاده قرار گیرد. این مدل تأیید کرد که با کاهش غلظت آلاینده، افزایش دما و رطوبت، کارایی گیاهان در حذف بنزن افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، استفاده از گیاهان آپارتمانی نه‌تنها یک راهکار پایدار و اقتصادی برای بهبود کیفیت هوای داخلی است، بلکه می‌تواند در کاهش اثرات مضر آلاینده‌های خطرناک، مانند بنزن، بر سلامت عمومی نیز مؤثر باشد. با این حال، برای بهینه‌سازی فرآیند تصفیه هوا و شناسایی گیاهان با بالاترین کارایی در شرایط محیطی متفاوت، انجام تحقیقات بیشتری ضروری است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری با عنوان "بررسی اثربخشی گل‌های زینتی پرمصرف آپارتمانی در کاهش ترکیبات آلی فرار هوا (BTEX) محیط‌های داخلی با استفاده از مدل معادلات ساختاری" در سال ۱۴۰۳ است که با حمایت معنوی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، انجام شده است.

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی البرز به‌منظور همکاری در انجام آزمایش‌ها اعلام می‌دارند.

References

1. Tian X, Wei S, Mavrogianni A, Yu W, Pan L, editors. The effectiveness of potted plants in improving indoor air quality: A comparison between chamber and field studies. Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC2023); 2023. EDP Sciences.

2. Lu M, Zhao X, Ding Z, Zhao J, Jing R, Gao P. Research on purification capacity of nine kinds of indoor plant against benzene pollution. Journal Shandong Jianzhu University. 2016;31:527-35.

3. Lu M, Zhang L, Li D, Lu J, Zhao X, editors. Analysis of changes of POD activity of indoor plants under the stress of benzene pollution. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2018. IOP Publishing.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

4. Dionova BW, Mohammed M, Al Zubaidi S, Yusuf E. Environment indoor air quality assessment using fuzzy inference system. Ict Express. 2020;6(3):185-94.

5. Pitarma R, Marques G, Ferreira BR. Monitoring indoor air quality for enhanced occupational health. Journal of Medical Systems. 2017;41(2):23.

6. Partap M, Sharma D, Deekshith H, Chandel A, Thakur M, Bhargava B. Phytoremediation toward air pollutants: latest status and current developments. Air Pollution-Latest Status and Current Developments: IntechOpen; 2023.

7. Agarwal N, Meena CS, Raj BP, Saini L, Kumar A, Gopalakrishnan N, et al. Indoor air quality improvement in COVID-19 pandemic. Sustainable Cities and Society. 2021;70:102942.

8. Zhou C, McCarthy SA, Durbin R. YaHS: yet another Hi-C scaffolding tool. Bioinformatics. 2023;39(1):btac808.

9. Rathi BS, Kumar PS, Show PL. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research. Journal of Hazardous Materials. 2021;409:124413.

10. Pandey VC, Bajpai O. Phytoremediation: from theory toward practice. Phytomanagement of polluted sites: Elsevier; 2019. p. 1-49.

11. Bandehali S, Miri T, Onyeaka H, Kumar P. Current state of indoor air phytoremediation using potted plants and green walls. Atmosphere. 2021;12(4):473.

12. Wolverton BC. How To Grow Fresh Air: 50 Houseplants To Purify Your Home Or Office: Orion Spring; 2020.

13. Gunasinghe Y, Rathnayake I, Deeyamulla M. Plant and plant associated microflora: potential bioremediation option of indoor air pollutants. Nepal Journal of Biotechnology. 2021;9(1):63-74.

14. Torpy FR, Irga PJ, Burchett MD. Reducing indoor air pollutants through biotechnology. Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering.2015. p. 181-210.

15. Han L, Gu H, Lu W, Li H, Peng Wx, Ma NL, et al. Progress in phytoremediation of chromium from the environment. Chemosphere. 2023;344:140307.

16. Ghoma WEO, Sevik H, Isinkaralar K. Using indoor plants as biomonitors for detection of toxic metals by tobacco smoke. Air Quality, Atmosphere & Health. 2022;15(3):415-24.

17. Orwell RL, Wood RL, Tarran J, Torpy F, Burchett MD. Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality. Water, Air, and Soil Pollution. 2004;157:193-207.

18. Yang DS, Pennisi SV, Son KC, Kays SJ. Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency. HortScience. 2009;44(5):1377-81.

19. Yu Gong , Tao Zhou , Peiran Wang , Yinuo Lin , Ruomeng Zheng , Youcai Zhao , et al. Fundamentals of ornamental plants in removing benzene in indoor air. Atmosphere.10(4):221.

20. Reddy DM, Bhargav V, Dhobal S, Phurailatpam A, Momin KC, Singh Y. Interior Scaping for a Better Living-A Review. The NEHU

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

Journal.2024;2022(2024):33-43.

21. Song Y, Sun Y, Luo S, Hou J, Kim J, Parkinson T, et al. Indoor environment and adaptive thermal comfort models in residential buildings in Tianjin, China. Procedia Engineering. 2017;205:1627-34.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Advanced evaluation of indoor air purification by plants: modeling the impact of Chlorophytum comosum and Aglaonema silver in benzene

Farzaneh Borzabadi Farahani[1], Mahmood Alimohammadi[2,3,4,*], Jamshid Rahimi[5], Sanaz Khoramipour[1], Emad Dehghanifard[6]

1- Department of Environment, Wt. c., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Center for Water Quality Research, Environmental Research Institute, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4- Center for Health Equity Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
5- Department of Occupational Health, School of Public Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran
6- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 16 February 2025
Revised: 05 May 2025
Accepted: 11 May 2025
Published: 16 September 2025

Keywords: Phytoremediation, Air purification, Volatile organic compounds, Benzene removal, Indoor air quality

***Corresponding Author:**
m_alimohammadi@tums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: People spend over 90% of their time indoors, where air pollutant concentrations—including volatile organic compounds (VOCs)—are significantly higher than outdoors. Among these VOCs, benzene is particularly critical due to its carcinogenic properties. Phytoremediation offers a sustainable solution for removing such pollutants from indoor environments. This study evaluates the benzene-reduction efficiency of two ornamental plant species, Aglaonema 'Silver' and Chlorophytum comosum, under controlled temperature and humidity conditions.

Materials and Methods: The plants were exposed to two temperature levels (18°C and 24°C) and two relative humidity conditions (35% and 50%). Benzene was introduced into sealed chambers at concentrations of 1, 0.5, 0.25, and 0.125 µL/mL. After 12 hours of exposure, benzene reduction was quantified using gas chromatography.

Results: At 20°C and 35% RH, Aglaonema 'Silver' removed 96% of benzene, outperforming Chlorophytum comosum (38%). Removal efficiency depended on species, environmental conditions, and initial concentration. Predictive models (Eq. 2–3) correlated strongly with experimental data ($R^2 > 0.9$).

Conclusion: Aglaonema 'Silver' demonstrated superior benzene removal compared to Chlorophytum comosum under lower temperature and humidity conditions. Our findings highlight that selecting plant species adapted to specific environmental parameters can significantly improve phytoremediation effectiveness. Furthermore, the proposed model indicates that elevated temperature and humidity levels may enhance benzene removal efficiency by indoor plants.

Please cite this article as: Borzabadi Farahani F, Alimohammadi M, Rahimi J, Khoramipour S, Dehghanifard E. Advanced evaluation of indoor air purification by plants: modeling the impact of Chlorophytum comosum and Aglaonema silver in benzene. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(2):255-66.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-31]