Journal of Health and Safety at Work 2026; 16(1): 237-257

REVIEW PAPER

Fungal Contaminants in Work Environments: A Threat to Occupational Health and Strategies for Their Management and Control

Fardin Ahmadkhani[1,2], Soqrat Omari Shekaftik[3,4], Reza Kachuei[2*]

[1]Student Research Committee, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[2]Molecular Biology Research Center, Biomedicine Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[3]Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[4]Students' Scientific Research Center, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received: 12-5-2025 Accepted: 3-10-2025

ABSTRACT

Introduction: Fungal contaminants in workplace environments pose significant biological hazards to employee health across various industries. This narrative review aims to explore the types of contaminating fungi, their health impacts, and strategies for prevention and control in occupational settings.

Material and Methods: This study was designed as a narrative review, with scientific literature sourced from databases including PubMed, Scopus, Web of Science, and local databases like Magiran and SID, covering the period from 2000 to March 2025. Keywords such as "fungal contaminants," "occupational health," and "mycotoxins" were used. Data were qualitatively analyzed and organized into thematic categories.

Results: Fungi such as *Aspergillus, Penicillium, Cladosporium*, and *Stachybotrys* are prevalent in environments with high humidity, poor ventilation, and abundant organic material, causing respiratory diseases, allergies, fungal infections, and chronic toxic effects. Identification methods include air sampling, molecular analysis, and mycotoxin assessment. Effective control measures encompass humidity management, enhanced ventilation, and personal protective equipment.

Conclusion: Effective management of fungal contaminants requires integrated approaches, including accurate identification, environmental control, and employee training. These measures can enhance worker health and reduce economic and social costs.

Keywords: *Work environments, Occupational health, Bioaerosol, Pathogenic fungi*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ahmadkhani F., Omari Shekaftik S., Kachuei R. Fungal Contaminants in Work Environments: A Threat to Occupational Health and Strategies for Their Management and Control. J Health Saf Work. 2026; 16(1): 237-257.

1. INTRODUCTION

Fungal contamination in work environments is an important issue for occupational health. Fungi, such as yeasts, molds, and filamentous fungi, are microorganisms that play an important role in both natural and artificial ecosystems including decomposition of organic matter and nutrient cycling. Certain fungi contribute to pollution in their environments, particularly in the workplace. Fungi generate airborne spores, mycotoxins, and other metabolites that pose a health threat to workers and contribute to the challenge of occupational hygienists. Occupational health (a sub-discipline of public health) deals with the identification, evaluation and control of occupational health hazards that threat-

* Corresponding Author Email: *kachueir@gmail.com*

Copyright © 2026 The Authors.
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/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

en the physical and mental health of workers. This literature review describes the various types of fungal workplace contaminants, their defined health effects in the workplace across multiple industries, and ways to implement effective prevention and control measures to reduce their impact. The present review is designed to collate the available evidence in order to expand knowledge about their potential effects, to suggest practical measures to reduce adverse health responses to occupational fungal exposure and to inform occupational health procedures and methods.

Fungi thrive in humidity, poor air exchange, appropriate temperatures, and organic materials – environments common in agriculture, food, construction, waste, and healthcare industries. Fungi are associated with adverse health effects, including respiratory diseases (occupational asthma), allergic responses, infections, and chronic effects associated with mycotoxins. In addition to health effects, fungal contamination incurs economic costs through lost productivity, increased medical costs, and possible legal expenses. This extended abstract summarizes the findings of a systematic review of fungi in the workplace. It provides background, discusses the biological characteristics of fungi in the workplace, their health and socioeconomic consequences, and summarizes evidence-based measures to reduce risk.

2. MATERIAL AND METHODS

This narrative review examined fungal contaminants in workplaces, their health effects, and control strategies. We searched PubMed, Scopus, Web of Science, and Persian databases (Magiran, SID) for publications from 2000-2025 using keywords like "occupational fungi" and "mycotoxins." Selected studies addressed fungal species, worker health impacts, or control methods in occupational settings. Data on fungal types, high-risk industries, health consequences, and prevention approaches were extracted and analyzed thematically. While emphasizing mycotoxin-related diseases, we incorporated diverse workplace contexts and geographical variations. The non-systematic approach prioritized key studies while acknowledging potential limitations from unpublished research or selection bias. Findings were organized to highlight practical solutions for fungal management in work environments.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Types of Fungal Contaminants and Their Characteristics

Fungal contaminants in the workplace can consist of a variety of molds, yeasts, and filamentous fungi; examples include *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, and *Alternaria*, among other genera observed. Molds thrive in environments with at least 60% relative humidity and temperatures ranging from 20 to 35 °C, as well as in or on organic substrates, including but not limited to, wood, paper, or residues from food. *Aspergillus* spp, notably *A. fumigatus* and *A. niger* can be found in grain storage, food processing facilities, and buildings undergoing construction. The biological species of *Aspergillus* produce heavy amounts of spores which become airborne and are inhaled. This may result in an infectious disease, such as aspergillosis in susceptible individuals, e.g., workers who are immunocompromised. *A. fumigatus* is such a great health risk because it can grow at very high temperatures (up to 50 °C) and produce mycotoxins, specifically gliotoxin.

Fungal species belonging to the genus *Penicillium*, such as *P. chrysogenum* and *P. citrinum*, are often present in food establishment (e.g. cheese-making and bakeries) and damp indoor environments. The small size of their spores (2-5 micrometers) makes them easy to inhale, resulting in allergic reactions or occupational asthma. Some species (e.g. *P. citrinum*) of *Penicillium* produce mycotoxins, such as citrinin, which may have chronic toxicity on the liver and kidney. *Cladosporium* species (e.g. *C. cladosporioides*) can grow on wet surfaces, and are therefore predominant in buildings (e.g. walls and air conditioning units) and may contribute to respiratory allergies particularly in humid environments like offices and hospitals. *Alternaria alternata* is an important source of allergic rhinitis and asthma among farmers and is common in agricultural practices due to the potency of allergenic response. Other fungi, such as *Fusarium* species and *Stachybotrys chartarum* (commonly referred to as toxic black mold) are associated with positive mycotoxin activity in certain environments, particularly damp construction sites or grain processing. The lightweight, resistant spores that allow these species to reproduce make them long-distance dispersers and a source of potential exposure in uncontrolled occupational settings.

Health Impacts of Fungal Contaminants Across Industries

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

The health effects of fungal contaminants vary depending on the fungal species, spore concentration, exposure duration, and individual susceptibility. Inhalation of spores and mycotoxins can lead to a spectrum of conditions, ranging from mild irritation to severe systemic diseases. In agriculture, workers handling crops or livestock are exposed to fungi like *Alternaria* and *Aspergillus flavus*, increasing the risk of hypersensitivity pneumonitis (known as farmer's lung) and mycotoxin-related liver toxicity. For instance, aflatoxins produced by *A. flavus* in stored grains are linked to chronic health risks, including liver cancer.

In food processing industries, such as bakeries and dairy plants, *Penicillium* and *Aspergillus niger* are prevalent, contributing to occupational asthma and contact dermatitis. Bakery workers, for example, may develop "baker's asthma" due to prolonged exposure to fungal spores in flour. Construction workers, particularly those involved in renovating old or damp buildings, face risks from *Stachybotrys chartarum*, which is associated with sick building syndrome, characterized by headaches, fatigue, and respiratory issues. In healthcare settings, immunocompromised patients and staff are vulnerable to invasive aspergillosis caused by *A. fumigatus* in contaminated ventilation systems. Waste management and composting facilities expose workers to high levels of *A. fumigatus*, leading to allergic bronchopulmonary aspergillosis (ABPA) and other respiratory conditions. These health impacts not only reduce workers' quality of life but also impose significant economic burdens through medical expenses and absenteeism.

Methods for Identification and Assessment

Accurate identification and assessment of fungal contaminants are crucial for managing workplace risks. Common methods include air sampling using biological impactors (e.g., Andersen samplers) to collect spores, followed by culturing on media like malt extract agar (MEA) to estimate colony-forming units (CFU/m^3). Surface sampling via swabs or adhesive tapes helps detect fungi on walls, equipment, or materials. Molecular techniques, such as polymerase chain reaction (PCR) and DNA sequencing, enable precise identification of fungal species, including non-culturable strains. Quantitative PCR (qPCR) is particularly useful for measuring fungal DNA in environmental samples, offering high sensitivity. Mycotoxin analysis, using high-performance liquid chromatography (HPLC) or mass spectrometry, detects harmful compounds like aflatoxins and ochratoxin A in workplaces like food processing plants. Environmental assessments, including humidity and temperature monitoring, complement these methods by identifying conditions conducive to fungal growth. Despite advancements, challenges remain, such as the lack of global standards for safe spore levels and variability in fungal concentrations due to seasonal factors.

Prevention and Control Strategies

Effective prevention and control of fungal contaminants require a multifaceted approach tailored to workplace conditions. Managing humidity is paramount, as levels above 60% promote fungal growth. Dehumidifiers, proper ventilation systems, and prompt repair of water leaks can significantly reduce risks. Regular cleaning to remove organic debris, such as food residues or dust, prevents fungal colonization. In industries like food processing, non-toxic disinfectants are recommended for surface sanitation. Personal protective equipment (PPE), including HEPA-filtered respirators, gloves, and protective clothing, is essential for workers in high-risk settings like construction or waste management. For example, N95 masks are effective against Stachybotrys spores during building renovations.

Employee training programs are critical for raising awareness about fungal hazards, teaching workers to recognize signs of contamination (e.g., musty odors, mold spots) and use PPE correctly. Regular environmental monitoring, using air sampling and molecular methods, allows early detection of fungal growth. Workplace design also plays a role; using moisture-resistant materials like concrete instead of cellulose-based products reduces fungal proliferation. While these measures are effective, challenges such as high implementation costs and lack of awareness in some industries hinder progress. A combination of environmental management, PPE, training, and monitoring remains the most robust strategy for minimizing fungal risks.

Role of Emerging Technologies

Innovative technologies are transforming fungal monitoring and control. Biosensors based on nanotechnology detect spores and mycotoxins in real-time, offering rapid results in sensitive environments like hospitals. Artificial intelligence (AI) analyzes environmental data to predict fungal growth, enabling proactive interventions. Ad-

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

vanced molecular methods, such as next-generation sequencing (NGS), identify fungal strains with unprecedented accuracy. Smart ventilation systems with HEPA filters and UV sterilization minimize spore dispersal. Despite their potential, high costs and the need for specialized training limit widespread adoption, particularly in developing regions.

Economic and Social Impacts

Fungal contamination extends beyond health, causing substantial economic and social consequences. Occupational illnesses like asthma or allergies lead to absenteeism, reduced productivity, and increased healthcare costs. For example, in agriculture, fungal-related diseases among workers can delay harvests, impacting supply chains. Legal disputes over unsafe working conditions further strain businesses. Socially, chronic exposure to fungi may lower workers' quality of life, causing stress and job dissatisfaction. Conversely, investing in prevention—through ventilation upgrades or training—yields long-term savings by reducing medical expenses and improving efficiency. Enhanced workplace safety also fosters trust between employers and employees, strengthening organizational culture.

4. CONCLUSIONS

Fungal contaminants in workplaces, including *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Cladosporium*, pose significant health risks, causing respiratory diseases, allergies, and economic losses. Effective management requires integrated strategies: identification through sampling and molecular techniques, prevention via humidity control and PPE, and policy support for standardized guidelines. Emerging technologies and case studies underscore the potential for innovation and practical solutions. This review highlights the urgency of addressing fungal hazards to ensure healthier, more productive workplaces.

5. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the valuable insights and feedback from colleagues who contributed to refining this work.

6. ETHICAL CODE

This review article was prepared following the principles of academic integrity and ethical scholarship. All sources used in this study have been appropriately cited, and no data or information has been fabricated or manipulated. The authors declare no conflicts of interest that could influence the objectivity of this work.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۶/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۵ صفحات ۲۳۷-۲۵۷

آلودگی‌های قارچی در محیط‌های کاری: تهدیدی برای بهداشت شغلی و راهکارهای مدیریت و کنترل آن‌ها

فردین احمدخانی[۱،۲]، سقراط عمری شکفتیک[۳،۴]، رضا کچوئی[۲*]

[۱]کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله (عج)، تهران، ایران.
[۲]مرکز تحقیقات بیولوژی مولکولی، پژوهشکده فناوری‌های زیست‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله (عج)، تهران، ایران.
[۳]گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی‌کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
[۴]مرکز تحقیقات علمی دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۱

چکیده

مقدمه: قارچ ها به‌عنوان یکی از عوامل زیستی مهم، تهدیدی جدی برای سلامت کارکنان در صنایع و محیط‌های کاری مختلف محسوب می‌شوند. این مطالعه مروری با هدف بررسی انواع قارچ‌های آلوده‌کننده، تأثیرات آن‌ها بر سلامت، و راهکارهای پیشگیری و کنترل در محیط‌های کاری انجام شد.

روش‌کار: این مطالعه به‌صورت مروری روایتی طراحی شد و منابع علمی از پایگاه‌های داده PubMed، Scopus، Web of Science، و منابع داخلی مانند Magiran و SID در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا مارس ۲۰۲۵ بررسی شدند. کلیدواژه‌هایی نظیر «قارچ‌های آلوده‌کننده»، «بهداشت شغلی»، و «مایکوتوکسین‌ها» برای جستجو استفاده شد. داده‌ها به‌صورت کیفی تحلیل و در دسته‌بندی‌های موضوعی سازمان‌دهی شدند.

یافته‌ها: قارچ‌هایی مانند آسپرژیلوس، پنی‌سیلیوم، کلادوسپوریوم، و استکی‌بوتریس در محیط‌هایی با رطوبت بالا، تهویه نامناسب، و مواد آلی فراوان شایع هستند و می‌توانند بیماری‌های تنفسی، آلرژی‌ها، عفونت‌های قارچی، و اثرات سمی مزمن ایجاد کنند. روش‌های شناسایی شامل نمونه‌برداری هوایی، آنالیز مولکولی، و ارزیابی مایکوتوکسین‌هاست. راهکارهای کنترلی مانند مدیریت رطوبت، بهبود تهویه، و استفاده از تجهیزات حفاظتی مؤثر شناخته شدند.

نتیجه‌گیری: مدیریت قارچ‌های آلوده‌کننده نیازمند رویکردهای یکپارچه شامل شناسایی دقیق، پیشگیری از طریق کنترل محیطی، و آموزش کارکنان است. این اقدامات می‌توانند سلامت کارکنان را بهبود بخشیده و هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی را کاهش دهند.

کلمات کلیدی: *محیط‌های کاری، بهداشت شغلی، بیوآئروسل، قارچ‌های بیماری زا.*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *kachueir@gmail.com*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

مقدمه

قارچها به‌عنوان گروهی متنوع از میکروارگانیسم‌ها، در اکوسیستم‌های طبیعی و مصنوعی نقش مهمی ایفا می‌کنند. این موجودات که شامل گونه‌های متعددی از مخمرها، کپک‌ها و قارچهای رشته‌ای هستند، در محیط‌های مختلف مانند خاک، آب، هوا و سطوح حضور داشته و در فرآیندهای زیستی مانند تجزیه مواد آلی و چرخه‌های غذایی مشارکت دارند (۱). با این حال، برخی از گونه‌های قارچی، به‌ویژه در محیط‌های کاری، به دلیل توانایی تولید اسپورهای معلق در هوا، مایکوتوکسین‌ها و سایر متابولیت‌های زیان‌آور، به‌عنوان آلاینده‌های زیستی شناخته می‌شوند. این قارچها می‌توانند سلامت کارکنان را در معرض خطر قرار دهند و چالش‌های جدی برای بهداشت شغلی ایجاد کنند.

قارچها می توانند در در محیط‌های کاری، به‌ویژه در شرایطی که عوامل محیطی مانند رطوبت بالا، تهویه نامناسب، دمای مناسب و مواد آلی فراهم باشد، به‌سرعت تکثیر شوند. این شرایط در صنایعی مانند کشاورزی، دامداری، صنایع غذایی، ساخت‌وساز، مدیریت پسماند و حتی محیط‌های اداری و بیمارستانی به‌وفور دیده می‌شوند. حضور قارچها در این محیط‌ها می‌تواند به بروز طیف گسترده‌ای از مشکلات سلامتی منجر شود (۲)، از جمله بیماری‌های تنفسی مانند آسم شغلی، آلرژی‌های پوستی و تنفسی، عفونت‌های قارچی (مانند آسپرژیلوزیس) و حتی اثرات مزمن ناشی از مواجهه با مایکوتوکسین‌ها مانند آفلاتوکسین‌ها (۳).

تأثیرات این نوع از بیوآئروسل ها بر سلامت کارکنان به نوع قارچ، غلظت اسپورها در هوا، مدت‌زمان مواجهه و حساسیت فردی بستگی دارد. برای مثال، گونه‌هایی مانند آسپرژیلوس، پنی سلیوم و کلادوسپوریوم به دلیل توانایی تولید اسپورهای فراوان و متابولیت‌های سمی، از مهم‌ترین عوامل قارچی آلوده کننده در محیط‌های کاری محسوب می‌شوند (۴). در مشاغل مرتبط با کشاورزی، کارکنان ممکن است در معرض قارچهای موجود در خاک یا محصولات کشاورزی قرار گیرند که خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی مانند بیماری التهابی ریه حساس[1] را افزایش می‌دهد. در صنایع غذایی، قارچها می‌توانند نه‌تنها سلامت کارکنان را تهدید کنند، بلکه کیفیت محصولات را نیز به خطر اندازند. در محیط‌های ساختمانی، به‌ویژه در پروژه‌های بازسازی که رطوبت و مواد آلی فراوان است، رشد قارچها می‌تواند به سندرم ساختمان بیمار[2] منجر شود که با علائمی مانند سردرد، خستگی و مشکلات تنفسی همراه است (۵, ۶).

علاوه بر اثرات مستقیم بر سلامت، می‌توانند پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی نیز داشته باشند. کاهش بهره‌وری کارکنان به دلیل بیماری‌های مرتبط با قارچها، افزایش هزینه‌های درمانی و حتی دعاوی حقوقی مرتبط با شرایط کاری غیر ایمن، از جمله این پیامدها هستند. این موضوع ضرورت توجه به مدیریت و کنترل قارچها در محیط‌های کاری را بیش از پیش آشکار می‌کند. در این راستا، سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان بهداشت جهانی[3] و سازمان بین‌المللی کار[4] بر اهمیت ارزیابی منظم محیط‌های کاری و اجرای استانداردهای بهداشتی تأکید کرده‌اند (۷). این مقاله با هدف بررسی جامع محیط‌های کاری که امکان وجود و گسترش قارچ ها در آن فراهم است ، تأثیرات آن‌ها بر سلامت کارکنان در مشاغل مختلف و ارائه راهکارهای عملی برای پیشگیری و کنترل این خطرات تدوین شده است. در بخش‌های بعدی، به شناسایی انواع قارچهای رایج در محیط‌های کاری، مکانیسم‌های تأثیر آن‌ها بر سلامت و اقدامات کنترلی پیشنهادی پرداخته خواهد شد. انتظار می‌رود که نتایج این مطالعه، به بهبود سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات عملی در حوزه بهداشت شغلی کمک کند و آگاهی کارفرمایان و کارکنان را نسبت به این موضوع افزایش دهد.

روش کار

طراحی مطالعه

این مطالعه به‌صورت یک مرور روایتی (Narrative Review)

1. Hypersensitivity Pneumonitis
2. Sick Building Syndrome
3. World Health Organization
4. International Labour Organization

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

طراحی شد تا قارچهای شایع در محیطهای کاری، تأثیرات آن‌ها بر سلامت کارکنان، و راهکارهای پیشگیری از رشد و کنترل آن ها مورد بررسی قرار گیرند. هدف این مرور، ارائه یک نمای کلی از شواهد علمی موجود در مورد نقش قارچها در بهداشت شغلی، با تمرکز بر گونه‌های قارچی رایج، اثرات سلامتی و اقدامات عملی برای مدیریت این آلاینده‌های زیستی است . این مطالعه به‌جای رویکرد نظام‌مند، از یک روش انعطاف‌پذیر برای جمع‌آوری و تحلیل منابع استفاده کرد تا دیدگاه جامعی از موضوع ارائه دهد.

جستجوی منابع

جستجوی منابع علمی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا مارس ۲۰۲۵ انجام شد. پایگاه‌های داده بین‌المللی مانند PubMed، Scopus و Web of Science، و نیز موتور جستجوی علمی Google Scholar برای دسترسی به مقالات انگلیسی‌زبان مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، برای پوشش منابع فارسی، پایگاه‌های داده داخلی مانند Magiran و SID بررسی شدند. کلیدواژه‌های جستجو شامل «قارچهای آلوده‌کننده»، «بهداشت شغلی»، «مایکوتوکسین‌ها»، «اسپورهای قارچی»، «محیطهای کاری»، «بیماری‌های تنفسی شغلی» و «کنترل قارچها» به همراه معادل‌های انگلیسی آن‌ها بودند. جستجوها به‌صورت دستی و با ترکیب کلیدواژه‌ها انجام شد تا منابع مرتبط شناسایی شوند.

انتخاب منابع

منابع انتخاب‌شده شامل مقالات علمی، کتاب‌ها، گزارش‌های سازمانی و مطالعات مروری بودند که به یکی از جنبه‌های موضوع (شناسایی قارچها، اثرات سلامتی و روش‌های مدیریت و کنترل آن ها در محیط های کار) پرداخته بودند. معیارهای ورود شامل: (۱) بررسی مستقیم قارچها در محیطهای کاری، (۲) ارائه اطلاعات در مورد گونه‌های قارچی در محیط های کاری، (۳) بحث در مورد اثرات سلامتی یا راهکارهای کنترلی قارچ ها در محیط های کاری و (۴) انتشار در منابع معتبر علمی یا سازمانی بود. مقالاتی که صرفاً به جنبه‌های زیست‌محیطی قارچها بدون تمرکز بر محیطهای کاری پرداخته بودند، کنار گذاشته شدند. انتخاب منابع براساس کیفیت علمی و ارتباط با اهداف مطالعه انجام شد، اما پروتکل سخت‌گیرانه‌ای برای حذف یا گنجاندن مقالات اعمال نشد.

استخراج و تحلیل داده‌ها

داده‌های استخراج‌شده از منابع شامل اطلاعات مربوط به انواع قارچهای آلوده‌کننده (مانند ویژگی‌های زیستی و شرایط رشد)، محیطهای کاری در معرض خطر (مانند کشاورزی، صنایع غذایی، ساخت‌وساز)، اثرات سلامتی (مانند آسم شغلی، آلرژی‌ها، عفونت‌های قارچی)، روش‌های شناسایی (مانند نمونه‌برداری هوایی، آنالیز مولکولی) و راهکارهای پیشگیری و کنترل (مانند مدیریت رطوبت، تهویه، تجهیزات حفاظتی) بودند. این داده‌ها به‌صورت کیفی تحلیل شدند و در قالب دسته‌بندی‌های موضوعی سازمان‌دهی شدند تا ساختار منسجمی برای ارائه در مقاله فراهم شود. تحلیل شامل مقایسه یافته‌ها، شناسایی شکاف‌های دانش، و برجسته‌سازی اقدامات عملی بود.

رویکرد نگارش

برای اطمینان از جامعیت، منابع از صنایع و مناطق جغرافیایی مختلف بررسی شدند تا تنوع در شرایط محیطهای کاری منعکس شود. تأکید ویژه‌ای بر مطالعات مرتبط با اثرات مایکوتوکسین‌ها و بیماری‌های شغلی ناشی از آنها قرار گرفت. در مواردی که منابع، اطلاعات متفاوتی ارائه می‌دادند، تلاش شد تا دیدگاه‌های مختلف در نظر گرفته شوند تا تصویر کاملی از موضوع ارائه شود. این مرور به منابع منتشرشده در بازه زمانی مشخص محدود بود و ممکن است برخی مطالعات جدید یا غیرمنتشرشده را پوشش ندهد. همچنین، به دلیل ماهیت غیرنظام‌مند، انتخاب منابع تا حدی به قضاوت محقق وابسته بود که ممکن است بر جامعیت مطالعه تأثیر بگذارد. با این حال،

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

تلاش شد تا منابع کلیدی و معتبر در اولویت قرار گیرند.

یافته ها

انواع قارچهای شایع در محیط‌کار و ویژگی‌های آن‌ها

قارچها شامل گونه‌های متنوعی از کپک‌ها، مخمرها و قارچهای رشته‌ای هستند که به دلیل توانایی رشد در شرایط محیطی مختلف و تولید متابولیت‌های زیان‌آور، می توانند به‌عنوان تهدیدی برای سلامت کارکنان در محیط های کاری نیز شناخته شوند (۸). قارچها معمولاً در محیط‌های کاری با رطوبت بالا، تهویه نامناسب، دمای مناسب (بین ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و وجود مواد آلی مانند چوب، کاغذ، غلات یا پسماندهای غذایی یافت می‌شوند (۳). شناخت انواع قارچهای رایج و ویژگی‌های زیستی آن‌ها، اولین گام در مدیریت و کنترل خطرات مرتبط با آن‌ها در محیط‌های کاری است. تغییرات اقلیمی و افزایش دما می‌توانند به ظهور قارچهای بیماری‌زا و مقاوم به داروهای ضدقارچی در محیط‌های کاری، به‌ویژه در صنایع کشاورزی و ساخت‌وساز، منجر شوند (۹).

یکی از رایج‌ترین قارچها در محیط های کاری ، گونه‌های جنس آسپرژیلوس به‌ویژه آسپرژیلوس فومیگاتوس[1] و آسپرژیلوس نایجر[2] هستند. این قارچها به دلیل تولید اسپورهای فراوان که به‌راحتی در هوا معلق می‌شوند، در محیط‌های کاری مانند انبارهای غلات، کارخانجات فرآوری مواد غذایی و سایت‌های ساخت‌وساز به‌وفور دیده می‌شوند. آسپرژیلوس فومیگاتوس به‌ویژه به دلیل توانایی رشد در دماهای بالا (تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد) و تولید مایکوتوکسین‌هایی مانند گلیوتوکسین، می‌تواند باعث بیماری‌های تنفسی مانند آسپرژیلوزیس در کارکنان با سیستم ایمنی ضعیف شود (۱۰). آسپرژیلوس نایجر نیز با تولید اسیدهای آلی و مایکوتوکسین‌هایی مانند اکراتوکسین A، در محیط‌های مرطوب مانند سردخانه‌ها و کارگاه‌های تولید کمپوست یافت می‌شود.

گونه‌های جنس پنی سلیوم مانند پنی سلیوم کرایزوژنوم[3] و پنی سلیوم سیترینوم[4]، از دیگر قارچهای شایع در محیط‌های کاری هستند. این قارچها معمولاً روی مواد غذایی فاسدشده، کاغذ و سطوح مرطوب رشد می‌کنند و در صنایعی مانند تولید پنیر، نانوایی‌ها و کتابخانه‌ها مشاهده می‌شوند. اسپورهای پنی سلیوم به دلیل اندازه کوچک (۲-۵ میکرومتر) به‌راحتی استنشاق می‌شوند و می‌توانند واکنش‌های آلرژیک یا آسم شغلی را در کارکنان ایجاد کنند (۴). علاوه بر این، برخی گونه‌های پنی سلیوم مایکوتوکسین‌هایی مانند سیترینین تولید می‌کنند که در طولانی‌مدت اثرات سمی بر کبد و کلیه دارند.

قارچهای جنس کلادوسپوریوم، به‌ویژه کلادوسپوریوم کلادوسپوریوئیدس[5]، نیز در محیط‌های داخلی و خارجی با رطوبت بالا شایع هستند. این قارچها معمولاً روی سطوح مرطوب مانند دیوارهای نم‌دیده، سیستم‌های تهویه مطبوع و مصالح ساختمانی رشد می‌کنند. اسپورهای کلادوسپوریوم به دلیل رنگ تیره و فراوانی، به‌راحتی قابل‌شناسایی هستند و می‌توانند در محیط‌های کاری مانند دفاتر اداری و بیمارستان‌ها به مشکلات تنفسی و آلرژی منجر شوند (۱۱).

گونه‌های جنس آلترناریا، مانند آلترناریا آلترناتا[6]، به‌ویژه در محیط‌های کشاورزی و انبارهای محصولات زراعی یافت می‌شوند. این قارچها به دلیل تولید آلرژن‌های قوی، یکی از عوامل اصلی آسم و رینیت آلرژیک در کشاورزان و کارگران انبار هستند. اسپورهای بزرگ آلترناریا (۱۰-۳۰ میکرومتر) معمولاً در فصل‌های گرم و خشک در هوا پراکنده می‌شوند و در محیط‌هایی با تهویه ضعیف تجمع می‌یابند (۱۲).

علاوه بر این قارچها، گونه‌هایی مانند فوزاریوم و استکی بوتریس نیز در شرایط خاص محیط‌های کاری دیده می‌شوند. فوزاریوم[7] در محیط‌های کشاورزی و تولید غلات به دلیل تولید مایکوتوکسین‌هایی مانند زرالنون،

1. Aspergillus Fumigatus
2. Aspergillus Niger

3. Penicillium Chrysogenum
4. Penicillium Citrinum
5. Cladosporium Cladosporioides
6. Alternaria Alternata
7. Fusarium

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

تریکوتسن‌ها و فومونیزین خطرناک است. استکی بوتریس چارتاروم[1] که به «کپک سیاه سمی» معروف است، در محیط‌های مرطوب با مصالح سلولزی مانند گچ و کاغذ دیواری رشد می‌کند و می‌تواند باعث مشکلات جدی سلامتی مانند خونریزی ریوی در موارد شدید شود (۷). ویژگی مشترک این قارچ‌ها، توانایی آن‌ها در تولید اسپورهای سبک و مقاوم است که می‌توانند مسافت‌های طولانی را در هوا طی کنند و به‌راحتی وارد سیستم تنفسی شوند. عوامل محیطی مانند رطوبت نسبی بالای ۶۰ درصد، فقدان نور مستقیم خورشید و تجمع مواد آلی، رشد این قارچ‌ها را تسهیل می‌کنند. در نتیجه، شناسایی دقیق گونه‌های قارچی و درک شرایط محیطی که به تکثیر آن‌ها کمک می‌کند، برای طراحی استراتژی‌های کنترلی در محیط‌های کاری ضروری است.

تأثیر قارچ‌های آلوده‌کننده بر سلامت کارکنان در مشاغل مختلف

قارچ‌های آلوده‌کننده محیط‌های کاری به دلیل تولید اسپورهای معلق در هوا، مایکوتوکسین‌ها و آلرژن‌ها، می‌توانند طیف گسترده‌ای از مشکلات سلامتی را برای کارکنان در مشاغل مختلف ایجاد کنند. اثرات این قارچ‌ها به عواملی مانند نوع قارچ، غلظت اسپورها، مدت‌زمان مواجهه، وضعیت سیستم ایمنی فرد و شرایط محیط کار بستگی دارد (۱۲). این مشکلات می‌توانند از علائم خفیف مانند تحریک پوست و چشم تا بیماری‌های جدی مانند عفونت‌های سیستمیک یا مسمومیت مزمن متغیر باشند. در ادامه، تأثیرات قارچ‌ها بر سلامت کارکنان در برخی مشاغل بررسی شده و قارچ های شایع در صنایع و محیط های شغلی و تاثیرات آنها در سلامت کارکنان در جدول یک (۱, ۱۳-۱۹) نشان داده شده اند.

- کشاورزی و دامداری

کارکنان بخش کشاورزی، به‌ویژه کسانی که در مزارع، انبارهای غلات یا گلخانه‌ها فعالیت می‌کنند، در معرض قارچ‌هایی مانند آلترناریا، فوزاریوم و آسپرژیلوس قرار دارند. استنشاق اسپورهای این قارچ‌ها می‌تواند به بیماری‌هایی مانند بیماری التهابی ریه حساس معروف به «ریه کشاورز»، منجر شود که با علائمی مانند تنگی نفس، سرفه مزمن و خستگی همراه است (۴). ظهور قارچ‌های مقاوم به داروهای ضدقارچی در محیط‌های کشاورزی و صنعتی، خطر مواجهه شغلی را افزایش داده و نیاز به پایش مداوم این گونه‌ها را برجسته می‌کند (۲۰). علاوه بر این، مایکوتوکسین‌هایی مانند آفلاتوکسین‌های تولیدشده توسط آسپرژیلوس فلاووس[2] در غلات ذخیره‌شده می‌توانند اثرات سمی بر کبد داشته باشند و در طولانی‌مدت خطر سرطان کبد را افزایش دهند (۱۰). کارگران دامداری نیز به دلیل مواجهه با کپک‌های موجود در علوفه و فضولات دامی، در معرض خطر مشابهی هستند (۱۹). مواجهه با مایکوتوکسین‌هایی مانند اکراتوکسین A در محیط‌های کشاورزی می‌تواند از طریق استنشاق یا تماس با محصولات آلوده رخ دهد و خطر اثرات سیستمیک، به‌ویژه بر کبد و کلیه، را افزایش دهد (۲۱).

- صنایع غذایی

در کارخانجات و مراکز تولید و فرآوری مواد غذایی، مانند نانوایی‌ها، کارخانه‌های تولید پنیر و سردخانه‌ها، قارچ‌هایی مانند پنی سلیوم و آسپرژیلوس نایجر شایع هستند. این قارچ‌ها می‌توانند باعث واکنش‌های آلرژیک مانند رینیت آلرژیک، آسم شغلی و درماتیت تماسی شوند. برای مثال، کارگران نانوایی که به‌طور مداوم در معرض آرد آلوده به پنی سلیوم قرار دارند، ممکن است به «آسم نانوایان» مبتلا شوند که با حملات تنفسی و حساسیت به آلرژن‌های قارچی همراه است (۱۱). همچنین، مایکوتوکسین‌هایی مانند اکراتوکسین A می‌توانند از طریق استنشاق یا تماس پوستی اثرات سیستمیک ایجاد کنند (۲۲). بیشتر مطالعات بر مواجهه با اکراتوکسین A از طریق بلع (غذای آلوده) یا استنشاق (در محیط‌های آلوده) تمرکز دارند. تماس پوستی معمولاً به‌عنوان یک مسیر فرعی در نظر گرفته می‌شود و شواهد مستقیم برای مسمومیت سیستمیک ناشی از آن نادر است. در

1. Stachybotrys Chartarum

2. Aspergillus Flavus

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

جدول ۱: قارچ های شایع در صنایع و محیط های شغلی و تاثیرات آنها در سلامت کارکنان

محیط شغلی	قارچ‌های آلوده‌کننده رایج	منابع مواجهه	اثرات سلامتی
کشاورزی و دامداری	*Alternaria, Fusarium, Aspergillus flavus, Aspergillus fumigatus, Histoplasma, Coccidioides, Blastomyces*	مزارع، انبارهای غلات، گلخانه‌ها، علوفه، فضولات دامی، خاک آلوده به فضولات پرندگان یا خفاش‌ها، اختلال خاک در مناطق بومی قارچ‌ها	بیماری التهابی ریه (ریه کشاورز)، تنگی نفس، سرفه مزمن، خستگی، مسمومیت کبدی، افزایش خطر سرطان کبد، هیستوپلاسموزیس، تب دره (کوکسیدیوییدومایکوزیس)، بلاستومایکوزیس، علائم شبیه پنومونی، خستگی شدید، درد مفاصل
صنایع غذایی (نانوایی‌ها، پنیرسازی، سردخانه‌ها)	*Penicillium, Aspergillus niger, Cladosporium, Alternaria, Aureobasidium, Fusarium, Geotrichum, Mucorales, Paecilomyces, Trichoderma, Ulocladium, Verticillium*	آرد آلوده، پنیر، مواد غذایی فرآوری‌شده، گرد و غبار معلق، سطوح مرطوب	رینیت آلرژیک، آسم شغلی (آسم نانوایان)، درماتیت تماسی، حملات تنفسی، حساسیت به آلرژن‌ها، اثرات سیستمیک از مایکوتوکسین‌ها مانند آسیبDNA ، مسمومیت کبدی و کلیوی
صنایع ساختمانی و بازسازی	*Stachybotrys chartarum, Cladosporium, Histoplasma, Coccidioides, Blastomyces*	مصالح سلولزی مرطوب، ساختمان‌های قدیمی، خاک مختل‌شده در ساخت‌وساز، گرد و غبار از تخریب، فضولات پرندگان یا خفاش‌ها در پل‌ها یا سازه‌ها	سندرم ساختمان بیمار، سردرد، خستگی، تحریک چشم، مشکلات تنفسی، خونریزی ریوی (در موارد نادر)، هیستوپلاسموزیس، تب دره، بلاستومایکوزیس، عفونت‌های شدید ریوی
محیط‌های اداری و بیمارستانی	*Cladosporium, Aspergillus, Penicillium*	سیستم‌های تهویه مطبوع آلوده، دیوارهای مرطوب، HVACبا رشد میکروبی	علائم آلرژیک مانند عطسه، خارش پوست، آبریزش بینی، آسپرژیلوزیس تهاجمی (به‌ویژه در افراد با ایمنی ضعیف)، عوارض مرگبار، تحریک مخاط
مدیریت پسماند، کمپوست و بازیافت	*Aspergillus fumigatus, Stachybotrys chartarum, Fusarium, Penicillium, Alternaria*	مواد آلی در حال تجزیه، گیاهان پوسیده، پسماندهای ارگانیک، گیاهان خشک‌کننده، تاسیسات تصفیه فاضلاب	برونکوپنومونی آلرژیک آسپرژیلوسی (ABPA)، التهاب مزمن ریه، اثرات عصبی و ایمونولوژیک، تحریک غشای مخاطی، خستگی، حالت تهوع، اثرات ایمنی‌تضعیفی، سرطان‌زایی احتمالی
صنایع چوب‌بری و اره‌کشی	*Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Trichoderma, Mucor*	گرد و غبار چوب، سطوح مرطوب چوبی، محیط‌های پردازش چوب	آتوپی، حساسیت پوستی، مشکلات تنفسی، آسم شغلی، التهاب ریوی، اثرات مزمن بر سیستم ایمنی
صنایع خوراک دام	*Aspergillus flavus, Fusarium, Penicillium, Alternaria*	گرد و غبار خوراک، انبارهای خوراک، فرآیندهای تولید، سطوح آلوده	تحریک مخاط، آسیب اپیتلیوم، اثرات غددی، واکنش‌های سیستمیک (تب، تهوع، خستگی)، ایمنی‌تضعیفی، آسیب کبدی و عصبی، سرطان‌زایی
صنایع چوب‌پنبه	*Penicillium Aspergilloides, Chrysonilia sitophila, Aspergillus Fumigati, Trichoderma, Rhizopus, Mucor, Cladosporium, Alternaria, Acremonium, Paecilomyces, Chrysosporium*	گرد و غبار چوب‌پنبه، فرآیندهای تولید مانند جوشاندن و خشک‌کردن، سطوح آلوده	سوبروزیس (نوعی پنومونیت حساسیت‌زا)، نقص‌های تهویه‌ای، فیبروز ریوی، محدودیت تنفسی، علائم تنفسی مانند سرفه و تنگی نفس، افزایش خطر با سابقه کاری طولانی
صنایع قهوه	*Aspergillus, Penicillium, Fusarium*	پردازش دانه‌های قهوه، گرد و غبار، سطوح مرطوب	اثرات تنفسی، حساسیت، مسمومیت از مایکوتوکسین‌ها مانند آفلاتوکسین، آسیب کبدی، ایمنی‌تضعیفی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

ادامه جدول ۱: قارچ های شایع در صنایع و محیط های شغلی و تاثیرات آنها در سلامت کارکنان

محیط شغلی	قارچ‌های آلوده‌کننده رایج	منابع مواجهه	اثرات سلامتی
معدن‌کاری و استخراج	*Histoplasma, Coccidioides, Blastomyces*	خاک آلوده، غارها، اختلال خاک، فضولات خفاش‌ها در معادن	هیستوپلاسموزیس، تب دره، بلاستومایکوزیس، عفونت‌های ریوی شدید، خستگی، درد قفسه سینه، گسترش به سایر اندام‌ها
محوطه‌سازی و حذف درختان	*Histoplasma, Blastomyces, Coccidioides*	خاک مختل‌شده، مواد ارگانیک، درختان، نزدیکی رودخانه‌ها	هیستوپلاسموزیس، بلاستومایکوزیس، تب دره، علائم شبیه آنفولانزا، عفونت‌های چشمی، لنفاوی
کارخانه‌های کاغذسازی	*Blastomyces, Aspergillus*	مواد ارگانیک، خاک آلوده در محوطه، سیستم‌هایHVAC	بلاستومایکوزیس، عفونت‌های ریوی، مرگبار در موارد شدید، علائم شبیه پنومونی
کنترل آفات و تمیزکاری دودکش‌ها	*Histoplasma*	فضولات پرندگان و خفاش‌ها، سازه‌های آلوده	هیستوپلاسموزیس، عفونت‌های منتشر، مشکلات چشمی، لنفاوی، به‌ویژه در افراد ایمنی‌ضعیف

مطالعه‌ای که بر روی موش‌ها انجام شده (۲۳) نشان می‌دهد که اکراتوکسین A می‌تواند از طریق پوست جذب شده و اثرات موضعی مانند آسیب DNA ایجاد کند، اما برای مسمومیت سیستمیک، نیاز به جذب قابل‌توجه به جریان خون است که به عوامل مختلفی مانند آسیب پوست، مدت تماس، و غلظت اکراتوکسین A بستگی دارد

- صنایع ساختمانی

در صنعت ساخت‌وساز، به‌ویژه در پروژه‌های بازسازی ساختمان‌های قدیمی یا مرطوب، قارچ‌هایی مانند استکی بوتریس چارتاروم و کلادوسپوریوم به دلیل وجود مصالح سلولزی مرطوب رشد می‌کنند. این قارچ‌ها می‌توانند به سندرم ساختمان بیمار منجر شوند که با علائمی مانند سردرد، خستگی، تحریک چشم و مشکلات تنفسی مشخص می‌شود (۷). مواجهه طولانی‌مدت با استکی بوتریس، معروف به «کپک سیاه سمی»، ممکن است در موارد نادر به مشکلات جدی مانند خونریزی ریوی منجر شود، به‌ویژه در کارگرانی که از تجهیزات حفاظتی مناسب استفاده نمی‌کنند (۲۴).

- محیط‌های اداری و بیمارستانی

در دفاتر و بیمارستان‌ها، سیستم‌های تهویه مطبوع آلوده و دیوارهای مرطوب می‌توانند بستری برای رشد قارچ‌هایی مانند کلادوسپوریوم و آسپرژیلوس فراهم کنند (۲۵). کارکنان این محیط‌ها ممکن است به دلیل استنشاق اسپورها دچار علائم آلرژیک مانند عطسه، خارش پوست و آبریزش بینی شوند. در بیمارستان‌ها، بیماران و کارکنان با سیستم ایمنی ضعیف در معرض خطر عفونت‌های قارچی مانند آسپرژیلوزیس تهاجمی هستند که می‌تواند عوارض مرگباری داشته باشد (۱۰). این موضوع اهمیت نگهداری منظم سیستم‌های تهویه را در چنین محیط‌هایی برجسته می‌کند.

- مدیریت پسماند و کمپوست

کارگرانی که در تأسیسات بازیافت پسماند یا تولید کمپوست فعالیت می‌کنند، به دلیل مواجهه با مواد آلی در حال تجزیه، در معرض قارچ‌هایی مانند آسپرژیلوس فومیگاتوس قرار دارند. این قارچ می‌تواند باعث بیماری‌های تنفسی مانند برونکوپنومونی آلرژیک آسپرژیلوسی (ABPA) شود که با التهاب مزمن ریه‌ها همراه است (۴). همچنین، مایکوتوکسین‌های موجود در این محیط‌ها می‌توانند اثرات عصبی و ایمونولوژیک ایجاد کنند (۲۶). در تأسیسات مدیریت پسماند و تولید کمپوست، مواجهه با قارچ‌هایی مانند آسپرژیلوس فومیگاتوس و مایکوتوکسین‌های مرتبط، خطر بیماری‌های تنفسی مانند برونکوپنومونی آلرژیک را افزایش می‌دهد (۲۷). به‌طور کلی، تأثیرات قارچ‌های آلوده‌کننده بر سلامت

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

کارکنان نه‌تنها به سلامت جسمی آن‌ها آسیب می‌رساند، بلکه می‌تواند بهره‌وری کاری را کاهش دهد و هزینه‌های درمانی و غرامت را افزایش دهد. این موضوع ضرورت ارزیابی منظم محیط‌های کاری و اجرای اقدامات کنترلی مانند بهبود تهویه، کاهش رطوبت و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی را نشان می‌دهد.

روش‌های شناسایی و ارزیابی قارچ‌های آلوده‌کننده در محیط‌های کاری

شناسایی و ارزیابی قارچ‌های آلوده‌کننده در محیط‌های کاری یکی از مهم‌ترین مراحل در مدیریت خطرات زیستی مرتبط با آن‌ها است. این فرآیند شامل تشخیص حضور قارچ‌ها، تعیین گونه‌های قارچی، اندازه‌گیری غلظت اسپورها در هوا و ارزیابی میزان خطر برای سلامت کارکنان است. با توجه به تنوع قارچ‌ها و پیچیدگی محیط‌های کاری، استفاده از روش‌های علمی و استاندارد برای پایش دقیق این آلاینده‌ها ضروری است (۴). در ادامه، مهم‌ترین روش‌های شناسایی و ارزیابی قارچ‌ها در محیط‌های کاری بررسی می‌شوند.

- استاندارد های پایش بیوآئروسل ها با تمرکز بر قارچ‌ها در محیط های شغلی

بیوآئروسل‌ها، شامل اسپورهای قارچی، باکتری‌ها و سایر ذرات بیولوژیکی معلق در هوا، می‌توانند با روش‌های مختلفی اندازه‌گیری، نمونه‌برداری و پایش شوند. روش‌های اصلی نمونه‌برداری شامل روش‌های viable (برای شناسایی میکروارگانیسم‌های زنده و قابل کشت) و non-viable (برای شمارش کل ذرات بدون توجه به زنده بودن) است (۴). در روش viable، از تکنیک‌های impaction مانند استفاده از Andersen cascade impactor برای جمع‌آوری اسپورها روی محیط کشت مانند malt extract agar (MEA) یا dichloran glycerol 18 agar (DG-18) برای قارچ‌ها، فیلتراسیون با فیلترهای ممبرانی برای شستشو و کشت بعدی و impingement با ایمپینجرهای مایع مانند AGI-30 برای جمع‌آوری در مایع و تحلیل بعدی استفاده می‌شود. این روش‌ها اجازه می‌دهند تا colony-forming units (CFU) per cubic meter هوا با تنظیماتی مانند positive hole correction برای دقت بیشتر محاسبه شود. برای پایش non-viable، از میکروسکوپی مانند fluorescence microscopy برای شمارش مستقیم اسپورهای قارچی، immunoassays مانند ELISA برای تشخیص آنتی‌ژن‌های خاص قارچ‌ها و تکنیک‌های مولکولی مانند PCR برای شناسایی ژنتیکی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری غلظت اسپورها معمولاً بر اساس CFU/m^3 یا $spores/m^3$ انجام می‌گیرد و پایش مداوم شامل ارزیابی محیطی، کنترل رطوبت و تهویه است تا سطوح بالاتر از آستانه‌های پیشنهادی مانند ۱,۰۰۰ CFU/m^3 برای قارچ‌های viable شناسایی شود (۴).

روش‌های سازمان‌های OSHA و NIOSH برای نمونه‌برداری و پایش بیوآئروسل‌ها، به ویژه قارچ‌ها، بر اساس راهنماهای فنی و تحلیلی تدوین شده‌اند. سازمان NIOSH در Manual of Analytical Methods (NMAM) روش ۰۸۰۰ را برای نمونه‌برداری بیوآئروسل‌های indoor air ارائه می‌دهد که شامل جمع‌آوری قارچ ها با Andersen 2-stage impactor و محیط کشت MEA است (۲۸). همچنین، روش ۰۸۰۱ برای باکتری‌های aerobic و روش‌های مرتبط در Chapter J NMAM را پوشش می‌دهد (۲۸). سازمان OSHA، هرچند استاندارد فدرال خاصی برای غلظت‌های mold ندارد اما در Technical Manual (OTM) Section III Chapter 2 راهنمایی‌هایی برای ارزیابی بیوآئروسل های ساپروفیتی ارائه می‌کند که نمونه‌برداری تنها پس از گزارش‌های پزشکی با استفاده از تجهیزات تخصصی و شاخص‌هایی مانند ۱,۰۰۰ CFU/m^3 برای viable fungi، همراه با تأکید بر اقدامات پیشگیرانه مانند کنترل رطوبت زیر ۶۰٪ و نگهداری HVAC برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها توصیه می‌شود (۱۸).

- نمونه‌برداری از هوا

یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای شناسایی قارچ‌ها، نمونه‌برداری از هوای محیط کار است. این کار با استفاده از دستگاه‌های نمونه‌بردار مانند ایمپکتورهای بیولوژیکی (مانند دستگاه اندرسون) یا فیلترهای غشایی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

انجام می‌شود که اسپورهای قارچی معلق در هوا را جمع‌آوری می‌کنند. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده سپس در محیط‌های کشت مانند آگار مالت اکسترکت (MEA) یا آگار سابورو دکستروز (SDA) کشت داده می‌شوند تا رشد قارچها بررسی شود (۷). این روش امکان شناسایی گونه‌های قارچی و تخمین غلظت اسپورها (به‌صورت واحد تشکیل‌دهنده کلنی در متر مکعب، CFU/m^3) را فراهم می‌کند (۲۹). با این حال، این روش ممکن است به دلیل وابستگی به شرایط کشت، برخی گونه‌های غیرقابل کشت را شناسایی نکند.

- نمونه‌برداری از سطوح

قارچها اغلب روی سطوح مرطوب مانند دیوارها، مصالح ساختمانی یا تجهیزات کاری رشد می‌کنند. برای شناسایی آن‌ها، از روش‌هایی مانند سواب زدن، نوار چسب یا جمع‌آوری نمونه‌های جامد استفاده می‌شود (۳۰). این نمونه‌ها سپس با میکروسکوپ نوری یا الکترونی بررسی می‌شوند تا ساختارهای قارچی مانند اسپورها یا هایف‌ها شناسایی شوند (۱۱). این روش به‌ویژه در تشخیص قارچهایی مانند استکی بوتریس چارتاروم که به سطوح مرطوب وابسته‌اند، مفید است.

- روش‌های مولکولی

پیشرفت‌های اخیر در زیست‌فناوری، استفاده از تکنیک‌های مولکولی مانند واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (PCR) و توالی‌یابی DNA را برای شناسایی قارچها امکان‌پذیر کرده است. این روش‌ها با استخراج DNA از نمونه‌های محیطی و مقایسه آن با پایگاه‌های داده ژنومی، امکان شناسایی دقیق گونه‌های قارچی، حتی گونه‌های غیرقابل کشت، را فراهم می‌کنند (۱۲).PCR کمی (qPCR) به‌ویژه برای اندازه‌گیری غلظت DNA قارچی در نمونه‌های هوا و سطوح کاربرد دارد و از دقت بالایی برخوردار است. با این حال، هزینه بالا و نیاز به تجهیزات تخصصی، استفاده از این روش را در برخی محیط‌های کاری محدود می‌کند (۳۱).

- اندازه‌گیری مایکوتوکسین‌ها

برخی قارچها مانند آسپرژیلوس و فوزاریوم مایکوتوکسین‌هایی تولید می‌کنند که برای سلامت کارکنان خطرناک هستند. برای ارزیابی این ترکیبات، از تکنیک‌هایی مانند کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) یا طیف‌سنجی جرمی (MS) استفاده می‌شود. این روش‌ها امکان تشخیص مایکوتوکسین‌هایی مانند آفلاتوکسین‌ها، اکراتوکسین A و تریکوتسن‌ها را در نمونه‌های محیطی فراهم می‌کنند (۱۰). این نوع ارزیابی به‌ویژه در صنایعی مانند کشاورزی و تولید مواد غذایی که خطر آلودگی محصولات وجود دارد، اهمیت دارد.

- ارزیابی بصری و محیطی

بررسی بصری محیط کار برای شناسایی علائم رشد قارچها، مانند لکه‌های کپک، بوی نامطبوع یا رطوبت بالا، یکی از روش‌های اولیه است. این روش اگرچه ساده است، اما باید با ابزارهای دقیق‌تری مانند رطوبت‌سنج و دماسنج تکمیل شود تا شرایط محیطی مستعد رشد قارچها (رطوبت نسبی بالای ۶۰ درصد و دمای ۲۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد) ارزیابی شود (۷). این اطلاعات به شناسایی نقاط پرخطر در محیط کار کمک می‌کند.

- ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک قارچهای آلوده‌کننده در محیط‌های کاری گامی اساسی در مدیریت خطرات زیستی و حفاظت از سلامت کارکنان است. این فرآیند شامل شناسایی گونه‌های قارچی، تعیین غلظت اسپورها و ارزیابی تأثیرات بالقوه آن‌ها بر سلامت است (۳۲). قارچهایی مانند آسپرژیلوس، پنی‌سیلیوم، و کلادوسپوریوم به دلیل تولید اسپورهای معلق در هوا و مایکوتوکسین‌ها، تهدیدی جدی برای کارکنان در صنایعی مانند کشاورزی، ساخت‌وساز، و صنایع غذایی محسوب می‌شوند (۱, ۳۳). برای ارزیابی ریسک، از مدل‌های کمی و کیفی استفاده می‌شود. مدل‌های کمی بر اندازه‌گیری دقیق غلظت بیوآئروسل‌ها، به‌ویژه اسپورهای قارچی، تمرکز دارند و معمولاً از شاخص‌هایی مانند واحدهای تشکیل‌دهنده کلنی (CFU/m^3) یا تعداد اسپورها در هر متر مکعب ($spores/m^3$) استفاده می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها با استفاده از تکنیک‌های نمونه‌برداری مانند impaction (با ابزارهایی مانند Andersen cascade

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

impactor یا filtration ،BioSampler) (با فیلترهای پلی‌کربنات یا ژلاتینی با منافذ ۰/۴ تا ۰/۸ میکرومتر) یا impingement (مانند AGI-30 با مایعات بافر مانند PBS) انجام می‌شوند. برای افزایش دقت، اصلاحاتی مانند positive hole correction در Andersen impactors اعمال می‌شود تا از خطای ناشی از همپوشانی کلنی‌ها جلوگیری شود. علاوه بر این، تکنیک‌های پیشرفته‌تر مانند quantitative real-time PCR (qPCR) برای شناسایی DNA قارچ‌های خاص (مانند Aspergillus fumigatus یا Stachybotrys chartarum) و سنجش مایکوتوکسین‌ها (مانند آفلاتوکسین یا اکراتوکسین A) با استفاده از liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) به کار می‌روند تا مواجهه با ترکیبات سمی قارچی را ارزیابی کنند. این روش‌ها به‌ویژه در محیط‌های پرخطر مانند کشاورزی، مدیریت پسماند یا بازسازی ساختمان‌ها که غلظت اسپورها ممکن است به بیش از ۱۰،۰۰۰ CFU/ m^3 برسد، حیاتی هستند. مدل‌های کیفی، در مقابل، بر تحلیل شرایط محیطی و عوامل خطرزا تمرکز دارند و نیازی به تجهیزات پیچیده ندارند. این مدل‌ها شامل ارزیابی بصری محیط کار برای شناسایی نشانه‌های رشد قارچ مانند لکه‌های کپک روی دیوارها، مصالح مرطوب یا بوی نامطبوع کپک است. ابزارهایی مانند رطوبت‌سنج‌های دیجیتال برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی (RH) و دماسنج‌های مادون قرمز برای شناسایی نقاط سرد که مستعد تراکم رطوبت هستند، استفاده می‌شوند. بررسی سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC) برای اطمینان از فیلتراسیون مناسب (مانند استفاده از فیلترهای HEPA با بازده ۹۹،۹۷٪ برای ذرات ۰،۳ میکرومتر) و جلوگیری از تجمع گرد و غبار یا رطوبت در کانال‌ها از دیگر جنبه‌های مهم است (۱۰, ۱۱, ۳۴).

از چالش‌های اصلی، فقدان استانداردهای جهانی برای سطوح ایمن اسپورهای قارچی است. برخی مطالعات غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ CFU/m^3 را خطرناک می‌دانند، اما این مقدار بسته به گونه قارچ و حساسیت افراد متفاوت است (۱۰). برای مثال، در محیط‌های بیمارستانی، حتی غلظت‌های پایین‌تر می‌توانند برای بیماران با سیستم ایمنی ضعیف خطرناک باشند. ارزیابی ریسک همچنین باید عوامل انسانی مانند مدت‌زمان مواجهه و استفاده از تجهیزات حفاظتی را در نظر بگیرد. رویکردهای مؤثر شامل نمونه‌برداری منظم از هوا و سطوح، استفاده از تکنیک‌های مولکولی مانند PCR برای شناسایی دقیق گونه‌ها و تحلیل داده‌ها با ابزارهای آماری است. این اطلاعات به کارفرمایان کمک می‌کند تا نقاط پرخطر را شناسایی کرده و اقدامات کنترلی مانند بهبود تهویه یا کاهش رطوبت را اولویت‌بندی کنند. در نهایت، ارزیابی ریسک نه‌تنها به پیشگیری از بیماری‌های شغلی کمک می‌کند، بلکه با کاهش هزینه‌های درمانی و غرامت، بهره‌وری سازمان‌ها را نیز افزایش می‌دهد. تدوین پروتکل‌های استاندارد برای ارزیابی ریسک در صنایع مختلف، گامی ضروری برای ارتقای بهداشت شغلی است (۴).

۳،۴ *راهکارهای پیشگیری از رشد و کنترل قارچ‌های آلوده‌کننده محیط‌های کاری*

کنترل و پیشگیری از قارچ‌های آلوده‌کننده در محیط‌های کاری به‌عنوان بخشی از برنامه‌های بهداشت شغلی، برای حفاظت از سلامت کارکنان و بهبود کیفیت محیط کار ضروری است. این فرآیند شامل مجموعه‌ای از اقدامات پیشگیرانه، اصلاحات محیطی، استفاده از تجهیزات حفاظتی و آموزش کارکنان است که با هدف کاهش رشد قارچ‌ها، جلوگیری از انتشار اسپورها و به حداقل رساندن مواجهه کارکنان با این آلاینده‌های زیستی طراحی شده‌اند (۱۳). در ادامه، مهم‌ترین راهکارهای پیشگیری و کنترل قارچ‌ها در محیط‌های کاری بررسی می‌شوند.

- مدیریت رطوبت و تهویه

رطوبت بالا (بیش از ۶۰ درصد) یکی از عوامل اصلی رشد قارچ‌ها است. برای پیشگیری، باید سیستم‌های تهویه مناسب نصب و نگهداری شوند تا جریان هوای کافی در محیط کار برقرار باشد. استفاده از دستگاه‌های رطوبت‌گیر در محیط‌های مرطوب مانند انبارها، سردخانه‌ها و

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

کارگاه‌های ساختمانی می‌تواند رشد قارچها را محدود کند (۳۵). همچنین، تعمیر نشتی‌های آب در لوله‌کشی، سقف‌ها و دیوارها و خشک‌کردن سریع سطوح مرطوب (ظرف ۲۴-۴۸ ساعت) از اقدامات کلیدی برای جلوگیری از تکثیر قارچهایی مانند استکی بوتریس و آسپرژیلوس است (۳۶). مدیریت رطوبت و تهویه مناسب از عوامل کلیدی در پیشگیری از رشد قارچها در محیط‌های کاری است. تحقیقات نشان داده‌اند که نوع سیستم تهویه و سطح شهرنشینی می‌توانند به طور قابل‌توجهی بر غلظت قارچهای معلق در هوا تأثیر بگذارند، به‌ویژه در محیط‌های بسته مانند دفاتر و کارخانجات با تهویه مصنوعی (۱۶). سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC) نقش حیاتی در کاهش غلظت بیوآئروسل‌های قارچی ایفا می‌کنند. این سیستم‌ها باید به‌طور منظم نگهداری شوند تا از تجمع رطوبت و رشد قارچهایی مانند Aspergillus و Cladosporium در فیلترها و کانال‌ها جلوگیری شود. استفاده از فیلترهای HEPA (با بازده ۹۹,۹۷٪ برای ذرات ۰,۳ میکرومتر) در سیستم‌های HVAC می‌تواند اسپورهای قارچی را به‌طور مؤثری حذف کند. همچنین، تنظیم رطوبت نسبی محیط به زیر ۶۰٪ با استفاده از رطوبت‌زداها و اطمینان از جریان هوای کافی برای جلوگیری از راکد شدن هوا توصیه می‌شود. بازرسی دوره‌ای و تمیز کردن کانال‌های تهویه مطابق با استانداردهای ASHRAE (مانند استاندارد ۶۲,۱ برای کیفیت هوای داخلی) و تعویض منظم فیلترها، خطر آلودگی قارچی را کاهش می‌دهد، به‌ویژه در محیط‌های حساس مانند بیمارستان‌ها که خطر آسپرژیلوزیس تهاجمی بالاست. علاوه بر این، استفاده از سیستم‌های تهویه با فشار مثبت در اتاق‌های تمیز و نصب سنسورهای رطوبت برای پایش مداوم شرایط محیطی می‌تواند از رشد قارچها جلوگیری کند. سایر اقدامات شامل ضدعفونی سطوح با محلول‌های ضدقارچی، استفاده از ماسک‌های N95 در محیط‌های پرخطر، و آموزش کارکنان برای شناسایی علائم کپک و گزارش سریع آن‌هاست.

- بهبود نظافت و نگهداری محیط

نظافت منظم سطوح کاری، حذف مواد آلی مانند پسماندهای غذایی، گردوغبار و مصالح مرطوب، از تجمع قارچها جلوگیری می‌کند (۳۷). در محیط‌هایی مانند کارخانجات مواد غذایی یا سایت‌های بازیافت، استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده غیرسمی برای پاک‌سازی سطوح می‌تواند مؤثر باشد. همچنین، نگهداری منظم سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC) و تعویض فیلترهای هوا از انتشار اسپورهای قارچی مانند کلادوسپوریوم جلوگیری می‌کند (۳۸). در محیط‌های کشاورزی، ذخیره‌سازی مناسب غلات و علوفه در شرایط خشک از رشد قارچهایی مانند فوزاریوم پیشگیری می‌کند. کاربرد گونه‌های قارچی مانند آسپرژیلوس نایجر در حذف فلزات سنگین از محیط‌های صنعتی، اگرچه نویدبخش است، نیازمند مدیریت دقیق برای جلوگیری از انتشار اسپورهای قارچی در محیط‌های کاری است (۳۹).

- استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE)

تجهیزات حفاظت فردی (PPE)، به‌ویژه ماسک‌های تنفسی، نقش کلیدی در کنترل و پیشگیری از مواجهه با بیوآئروسل‌های قارچی در محیط‌های کاری ایفا می‌کنند، جایی که اسپورهای قارچی می‌توانند باعث بیماری‌های تنفسی مانند آلرژی، آسم شغلی یا عفونت‌های سیستمیک شوند. انتخاب ماسک مناسب بر اساس ارزیابی ریسک، نوع قارچ، اندازه ذرات (معمولاً ۱-۱۰ میکرومتر برای اسپورهای قارچی) و استانداردهای سازمان‌هایی مانند NIOSH و OSHA انجام می‌شود. ماسک‌های تنفسی به دو دسته اصلی فیلترکننده ذرات و ماسک‌های تأمین‌کننده هوا تقسیم می‌شوند. در دسته فیلترکننده، ماسک‌های N95 (تصویب‌شده توسط NIOSH) حداقل ۹۵٪ ذرات غیرروغنی ۰/۳ میکرومتر یا بزرگ‌تر را فیلتر می‌کنند و برای مواجهه با بیوآئروسل‌های قارچی در محیط‌های کشاورزی، مدیریت پسماند یا بازسازی ساختمان‌ها مناسب هستند، زیرا اسپورهای قارچی معمولاً بزرگ‌تر از این اندازه هستند و ماسک‌های N95 حفاظت کافی فراهم می‌کنند (۱۵). انواع پیشرفته‌تر مانند N99 (۹۹٪ فیلتراسیون) و N100 (۹۹/۹۷٪ فیلتراسیون) برای مواجهه‌های شدیدتر با مایکوتوکسین‌های سمی مانند آفلاتوکسین توصیه می‌شوند. ماسک‌های

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

مقاوم به روغن مانند P95 یا R95 برای محیط‌هایی که ذرات روغنی (مانند در صنایع غذایی) وجود دارد، استفاده می‌شوند، در حالی که ماسک‌های جراحی سطح حفاظت پایین‌تری دارند و تنها برای جلوگیری از پخش قطرات بزرگ مناسب هستند، نه فیلتراسیون اسپورهای معلق. در استاندارد اروپایی (EN 149)، معادل‌ها شامل FFP2 (مشابه N95) و FFP3 (مشابه N99/N100) هستند که برای حفاظت در برابر bioaerosols در محیط‌های بیمارستانی یا صنعتی طراحی شده‌اند. ماسک‌های الاستومری (Elastomeric Respirators) با فیلترهای قابل تعویض (مانند P100) برای استفاده طولانی‌مدت مناسب هستند و Assigned Protection Factor (APF) بالاتری (تا ۱۰ برای نیم‌ماسک‌ها و ۵۰ برای ماسک‌های کامل) ارائه می‌دهند، که طبق استاندارد OSHA 1910.134 باید با تست فیت (Fit Testing) مانند qualitative (با مواد تحریک‌کننده) یا quantitative (با دستگاه‌هایی مانند Portacount) همراه باشند تا نشتی نداشته باشند (۴۰). برای مواجهه‌های بسیار پرخطر، مانند در بیمارستان‌ها با بیماران ایمنی‌ضعیف یا تأسیسات مدیریت پسماند، ماسک‌های Powered Air-Purifying Respirators (PAPR) با APF تا ۱،۰۰۰ توصیه می‌شوند که هوا را از طریق فن و فیلتر HEPA (High-Efficiency Particulate Air) تأمین می‌کنند و نیاز به فیت تست کمتری دارند، اما باید طبق راهنمای NIOSH نگهداری شوند تا از آلودگی فیلترها جلوگیری شود. برنامه حفاظت تنفسی (Respiratory Protection Program) طبق OSHA باید شامل آموزش کارکنان، ارزیابی پزشکی، نگهداری ماسک‌ها و نظارت بر اثربخشی با تأکید بر جایگزینی فیلترها بر اساس زمان استفاده یا علائم آلودگی باشد (۴۱). در محیط‌های کاری آلوده به قارچ، ترکیب ماسک‌های تنفسی با اقدامات دیگر مانند کنترل رطوبت و تهویه، اثربخشی پیشگیری را افزایش می‌دهد و خطر بیماری‌هایی مانند هیپر حساسیت پنومونیت یا آسپرژیلوزیس را کاهش می‌دهد. (۴۲).

- آموزش و آگاهی کارکنان

آموزش کارکنان درباره خطرات قارچ‌ها، علائم رشد آن‌ها (مانند بوی کپک یا لکه‌های تیره) و روش‌های پیشگیری، نقش مهمی در کنترل این آلاینده‌ها دارد. برنامه‌های آموزشی باید شامل اطلاعاتی درباره استفاده صحیح از تجهیزات حفاظتی، گزارش سریع مشکلات رطوبت و رعایت استانداردهای بهداشتی باشد. این آگاهی به‌ویژه در محیط‌های بیمارستانی و اداری که ممکن است خطرات قارچی نادیده گرفته شوند، اهمیت دارد (۷).

- پایش و ارزیابی مستمر

اجرای برنامه‌های پایش منظم برای شناسایی قارچ‌ها و اندازه‌گیری غلظت اسپورها در هوا، امکان مداخله زودهنگام را فراهم می‌کند. استفاده از روش‌هایی مانند نمونه‌برداری هوایی و آنالیز مولکولی (مانند PCR) می‌تواند به شناسایی نقاط پرخطر کمک کند. همچنین، تنظیم استانداردهای داخلی برای سطوح قابل‌قبول اسپورهای قارچی (مانند کمتر از ۵۰۰ CFU/m^3) و بازرسی دوره‌ای محیط کار، از گسترش آلودگی جلوگیری می‌کند (۴۳).

- اصلاح طراحی محیط کار

در طراحی ساختمان‌های کاری، باید از مصالح مقاوم به رطوبت مانند بتن یا فلز به‌جای مواد سلولزی مانند گچ و چوب استفاده شود. نصب پنجره‌های کافی برای نور طبیعی و جریان هوا و طراحی سیستم‌های زهکشی مناسب برای جلوگیری از تجمع آب، رشد قارچ‌ها را کاهش می‌دهد (۱۱). این اقدامات به‌ویژه در محیط‌های مرطوب مانند گلخانه‌ها یا کارخانجات فرآوری مواد غذایی کاربرد دارد.

نقش فناوری‌های نوین در پایش و کنترل قارچ‌های محیطی

فناوری‌های نوین نقش مهمی در بهبود پایش و کنترل قارچ‌های آلوده‌کننده در محیط‌های کاری ایفا می‌کنند. روش‌های سنتی مانند نمونه‌برداری هوایی و کشت میکروبی، اگرچه مؤثرند، اما زمان‌بر بوده و ممکن است گونه‌های غیرقابل‌کشت را شناسایی نکنند (۴۴). در مقابل، فناوری‌هایی مانند حسگرهای زیستی، سیستم‌های تشخیص بلادرنگ و هوش مصنوعی (AI) دقت و سرعت

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

پایش را افزایش داده‌اند. برای مثال، حسگرهای زیستی مبتنی بر نانوتکنولوژی می‌توانند غلظت اسپورهای قارچی یا مایکوتوکسین‌ها را در زمان واقعی تشخیص دهند، که در محیط‌های حساسی مانند بیمارستان‌ها بسیار ارزشمند است. فناوری‌های نوین مانند ابزارهای مبتنی بر لومینسانس برای شناسایی قارچ‌ها، امکان پایش دقیق‌تر و سریع‌تر آلودگی‌های قارچی را در محیط‌های کاری صنعتی فراهم کرده‌اند (۴۵).

هوش مصنوعی نیز با تحلیل داده‌های محیطی (مانند رطوبت، دما و جریان هوا) می‌تواند نقاط پرخطر رشد قارچ‌ها را پیش‌بینی کند. این سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، الگوهای رشد قارچ‌هایی مانند آسپرژیلوس یا پنی‌سیلیوم را شناسایی کرده و هشدارهای زودهنگام ارائه می‌دهند. علاوه بر این، تکنیک‌های مولکولی پیشرفته مانند qPCR و توالی‌یابی نسل بعدی (NGS) امکان شناسایی دقیق گونه‌های قارچی و حتی سویه‌های مقاوم را فراهم می‌کنند. این روش‌ها به‌ویژه در صنایعی مانند تولید مواد غذایی، که کیفیت محصول در معرض خطر است، کاربرد دارند.

در زمینه کنترل، فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های تهویه هوشمند مجهز به فیلترهای HEPA و اشعه UV می‌توانند انتشار اسپورهای قارچی را به حداقل برسانند. همچنین، ربات‌های نظافت خودکار با قابلیت ضدعفونی سطوح در محیط‌های کاری مانند انبارها و کارخانجات مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴۶). با این حال، هزینه بالای این فناوری‌ها و نیاز به آموزش تخصصی، پذیرش آن‌ها را در برخی صنایع محدود کرده است. برای غلبه بر این چالش، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و همکاری بین بخش‌های خصوصی و دولتی ضروری است. این فناوری‌ها نه‌تنها به کاهش خطرات قارچی کمک می‌کنند، بلکه استانداردهای بهداشت شغلی را نیز ارتقا می‌دهند.

اثرات اقتصادی و اجتماعی قارچ‌های آلوده‌کننده در محیط کار

قارچ‌های آلوده‌کننده محیط‌های کاری، علاوه بر تأثیرات سلامتی، پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی دارند که اغلب نادیده گرفته می‌شوند (۱۷). بیماری‌های ناشی از قارچ‌ها، مانند آسم شغلی، آلرژی‌ها و عفونت‌های تنفسی، می‌توانند به کاهش بهره‌وری کارکنان منجر شوند. برای مثال، در صنایعی مانند کشاورزی یا مدیریت پسماند، غیبت کارکنان به دلیل بیماری‌های مرتبط با قارچ‌ها هزینه‌های جایگزینی نیروی کار و تأخیر در پروژه‌ها را افزایش می‌دهد. هزینه‌های مستقیم، مانند درمان بیماری‌های قارچی یا مایکوتوکسین محور، بار مالی سنگینی بر سیستم‌های بهداشتی و کارفرمایان تحمیل می‌کند (۳۴).

از منظر اجتماعی، قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض قارچ‌ها می‌تواند به کاهش کیفیت زندگی کارکنان، استرس شغلی و حتی ترک کار منجر شود. در محیط‌های کاری ناایمن، اعتماد کارکنان به کارفرما کاهش می‌یابد و ممکن است دعاوی حقوقی مرتبط با شرایط کاری مطرح شود. برای مثال، در پروژه‌های ساخت‌وساز که رشد استکی‌بوتریس (کپک سیاه) شایع است، گزارش‌هایی از سندرم ساختمان بیمار ثبت شده که با علائم مزمن مانند خستگی و سردرد همراه است. این موضوع نه‌تنها سلامت جسمی، بلکه سلامت روانی کارکنان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۷). از سوی دیگر، سرمایه‌گذاری در پیشگیری از آلودگی قارچی می‌تواند مزایای اقتصادی قابل‌توجهی داشته باشد. اجرای اقداماتی مانند بهبود تهویه، نظافت منظم و آموزش کارکنان، هزینه‌های اولیه‌ای دارد، اما در بلندمدت با کاهش بیماری‌ها و افزایش بهره‌وری، مقرون‌به‌صرفه است. در سطح اجتماعی، محیط‌های کاری سالم‌تر به افزایش رضایت شغلی و تقویت روابط کارفرما-کارمند کمک می‌کنند. با این حال، فقدان آگاهی در برخی صنایع، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مانع از اجرای این اقدامات می‌شود. بنابراین، سیاست‌گذاری‌های کلان و همکاری بین سازمان‌های بهداشتی و کارفرمایان برای کاهش این پیامدها ضروری است. توجه به این جنبه‌ها می‌تواند به ایجاد محیط‌های کاری پایدار و ایمن کمک کند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

سیاست‌گذاری و مقررات در مدیریت قارچ‌های محیط کاری

سیاست‌گذاری مؤثر و مقررات مشخص برای مدیریت قارچ‌های آلوده‌کننده در محیط‌های کاری، کلید تضمین سلامت کارکنان است. سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان بین‌المللی کار (ILO) بر اهمیت ارزیابی منظم محیط‌های کاری و اجرای استانداردهای بهداشتی تأکید دارند (۷). با این حال، فقدان استانداردهای جهانی برای سطوح ایمن اسپورهای قارچی یا مایکوتوکسین‌ها، چالش بزرگی است. برای مثال، در حالی که برخی کشورها مانند ایالات متحده دستورالعمل‌هایی برای کنترل کپک در ساختمان‌ها دارند، بسیاری از کشورهای در حال توسعه فاقد چنین مقرراتی هستند. سیاست‌گذاری باید بر سه محور اصلی تمرکز کند: پایش، پیشگیری و آموزش. پایش منظم محیط‌های کاری با استفاده از روش‌های استاندارد مانند نمونه‌برداری هوایی و تحلیل مولکولی، امکان شناسایی زودهنگام قارچ‌ها را فراهم می‌کند (۱۴). پیشگیری شامل اقداماتی مانند الزام به نصب سیستم‌های تهویه مناسب، مدیریت رطوبت، و استفاده از مصالح مقاوم به کپک در طراحی ساختمان‌ها است. آموزش نیز باید کارفرمایان و کارکنان را با خطرات قارچی و روش‌های حفاظتی آشنا کند.

تدوین مقررات محلی که با شرایط اقلیمی و صنعتی هر منطقه سازگار باشد، ضروری است. برای مثال، در مناطق مرطوب، استانداردهای سخت‌گیرانه‌تری برای کنترل رطوبت مورد نیاز است. همچنین، سیاست‌ها باید مسئولیت‌های کارفرمایان را در تأمین تجهیزات حفاظتی و بازرسی‌های دوره‌ای مشخص کنند. در سطح بین‌المللی، ایجاد پایگاه‌های داده مشترک برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات در مورد گونه‌های قارچی و روش‌های کنترلی می‌تواند به هماهنگی تلاش‌ها کمک کند. چالش‌هایی مانند هزینه‌های اجرای مقررات و مقاومت برخی صنایع در برابر تغییرات، مانع پیشرفت هستند. با این حال، مزایای بلندمدت، مانند کاهش بیماری‌های شغلی و افزایش بهره‌وری، توجیه‌کننده این سرمایه‌گذاری‌هاست. سیاست‌گذاری موفق نیازمند همکاری بین دولت‌ها، سازمان‌های بهداشتی، و بخش خصوصی است تا محیط‌های کاری ایمن و پایدار ایجاد شود.

نتیجه گیری

قارچ‌های آلوده‌کننده محیط‌های کاری، به‌عنوان یکی از عوامل زیستی مهم در بهداشت شغلی، تهدیدی جدی برای سلامت کارکنان در صنایع مختلف به شمار می‌روند. این قارچ‌ها، از جمله گونه‌هایی مانند آسپرژیلوس، پنی سلیوم، کلادوسپوریوم و استکی بوتریس، به دلیل توانایی تولید اسپورهای معلق در هوا و مایکوتوکسین‌ها، می‌توانند طیف گسترده‌ای از مشکلات سلامتی از جمله بیماری‌های تنفسی، آلرژی‌ها، عفونت‌ها و اثرات سمی مزمن را ایجاد کنند. همان‌طور که در بخش‌های پیشین بررسی شد، این قارچ‌ها در مشاغلی مانند کشاورزی، صنایع غذایی، ساخت‌وساز، مدیریت پسماند و حتی محیط‌های اداری و بیمارستانی شایع هستند و اثرات منفی آن‌ها نه‌تنها سلامت جسمی و روانی کارکنان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه بهره‌وری سازمان‌ها و هزینه‌های مرتبط با مراقبت‌های بهداشتی را نیز افزایش می‌دهد. شناسایی و ارزیابی قارچ‌ها با استفاده از روش‌هایی مانند نمونه‌برداری هوایی، تجزیه‌وتحلیل مولکولی و اندازه‌گیری مایکوتوکسین‌ها، امکان تشخیص دقیق و به‌موقع این آلاینده‌ها را فراهم می‌کند. با این حال، چالش‌هایی مانند تنوع گونه‌های قارچی، محدودیت‌های روش‌های کشت و فقدان استانداردهای جهانی برای سطوح ایمن اسپورها، ضرورت توسعه روش‌های نوین و یکپارچه را نشان می‌دهد. همچنین، راهکارهای پیشگیری و کنترل، از جمله مدیریت رطوبت، بهبود تهویه، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، نظافت منظم و آموزش کارکنان، به‌عنوان رویکردهای مؤثر در کاهش خطرات قارچی شناسایی شدند. این اقدامات، به‌ویژه هنگامی که به‌صورت ترکیبی و متناسب با نوع صنعت اجرا شوند، می‌توانند تأثیرات مثبت قابل‌توجهی بر سلامت محیط کار داشته باشند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

در نهایت، مدیریت مؤثر قارچ‌های آلوده‌کننده نه‌تنها به سلامت کارکنان کمک می‌کند، بلکه با کاهش هزینه‌های درمانی و افزایش بهره‌وری، مزایای اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی به همراه دارد.

REFERENCES

1. Hawksworth DL, Lücking R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. Microbiol Spectr. 2017;5(4):10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.
2. Bayat S, Geiser F, Kristiansen P, Wilson SC. Organic contaminants in bats: trends and new issues. Environ Int. 2014;63:40-52.
3. van de Veerdonk FL, Carvalho A, Wauters J, Chamilos G, Verweij PE. Aspergillus fumigatus biology, immunopathogenicity and drug resistance. Nat Rev Microbiol. 2025;23.
4. Eduard W, Heederik D, Duchaine C, Green BJ. Bioaerosol exposure assessment in the workplace: the past, present and recent advances. J Environ Monit. 2012;14(2):334-9.
5. Crosthwaite SK, Heintzen C. Detection and response of the Neurospora crassa circadian clock to light and temperature. Fungal Biol Rev. 2010;24(3-4):114-22.
6. Golbabaei F, Javad SheikhMozafari M, Biganeh J, Omari Shekaftik S. Teachers' health status about air quality (temperature, relative humidity, and ventilation) in educational centers: a systematic review. J Health Saf Work. 2023;13(3):645-62.
7. World Health Organization Regional Office for Europe. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2009.
8. Case NT, Berman J, Blehert DS, Cramer RA, Cuomo C, Currie CR, et al. The future of fungi: threats and opportunities. Oxford: Oxford University Press; 2022.
9. Huang J, Hu P, Ye L, Shen Z, Chen X, Liu F, et al. Pan-drug resistance and hypervirulence in a human fungal pathogen are enabled by mutagenesis induced by mammalian body temperature. Nat Microbiol. 2024;9(7):1686-99.
10. Dagenais TR, Keller NP. Pathogenesis of Aspergillus fumigatus in invasive aspergillosis. Clin Microbiol Rev. 2009;22(3):447-65.
11. Crook B, Burton NC. Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. Fungal Biol Rev. 2010;24(3-4):106-13.
12. Bush RK, Portnoy JM, Saxon A, Terr AI, Wood RA. The medical effects of mold exposure. J Allergy Clin Immunol. 2006;117(2):326-33.
13. Khan AH, Karuppayil SM. Fungal pollution of indoor environments and its management. Saudi J Biol Sci. 2012;19(4):405-26.
14. Marcelloni AM, Pigini D, Chiominto A, Gioffrè A, Paba E. Exposure to airborne mycotoxins: the riskiest working environments and tasks. Ann Work Expo Health. 2024;68(1):19-35.
15. Miller JD, Springston JP Jr, Marcham CL, Krause JD, Hung LL, Baker WA. Aerosolized transmissible diseases guidance document. AIHA J. 2025;86(1).
16. Niculita-Hirzel H, Yang S, Hager Jörin C, Perret V, Licina D, Goyette Pernot J. Fungal contaminants in energy efficient dwellings: impact of ventilation type and level of urbanization. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(14):4936.
17. Niego AGT, Lambert C, Mortimer P, Thongklang N, Rapior S, Grosse M, et al. The contribution of fungi to the global economy. Fungal Divers. 2023;121(1):95-137.
18. OSHA. A brief guide to mold in the workplace. Washington, DC: Occupational Safety and Health Administration, US Department of Labor; 2003.
19. Park JH, Cox-Ganser JM. Mold exposure and respiratory health in damp indoor environments. Front Biosci (Elite Ed). 2011;3(2):757-71.
20. Kofoed VC, Campion C, Rasmussen PU, Møller SA, Eskildsen M, Nielsen JL, et al. Exposure to resistant fungi across working environments and time. Sci Total Environ. 2024;923:171189.
21. Kyei NN, Cramer B, Humpf HU, Degen GH, Ali N, Gabrysch S. Assessment of multiple mycotoxin exposure and its association with food consumption: a human biomonitoring study in a pregnant cohort in rural Bangladesh. Arch Toxicol. 2022;96(7):2123-38.
22. Duarte S, Pena A, Lino C. Ochratoxin A non-conventional exposure sources—a review. Microchem J. 2009;93(2):115-20.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

23. Kumar R, Ansari KM, Chaudhari BP, Dhawan A, Dwivedi PD, Jain SK, et al. Topical application of ochratoxin A causes DNA damage and tumor initiation in mouse skin. PLoS One. 2012;7(10):e47280.
24. Vesper S, Wymer L. The relationship between environmental relative moldiness index values and asthma. Int J Hyg Environ Health. 2016;219(3):233-8.
25. Kumar P, Singh R. Microbial indoor air pollution in Delhi Metropolitan City is attributable to severe respiratory and general health effects among residents. Front Public Health. 2025;13:1626827.
26. Heldal KK, Madso L, Eduard W. Airway inflammation among compost workers exposed to actinomycetes spores. Ann Agric Environ Med. 2015;22(2).
27. Schlosser O, Robert S, Noyon N. Airborne mycotoxins in waste recycling and recovery facilities: occupational exposure and health risk assessment. Waste Manag. 2020;105:395-404.
28. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH manual of analytical methods. 4th ed. Cincinnati, OH: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention; 1994.
29. Adhikari A, Gupta J, Wilkins JR III, Olds RL, Indugula R, Cho KJ, et al. Airborne microorganisms, endotoxin, and (1→3)-β-D-glucan exposure in greenhouses and assessment of respiratory symptoms among workers. Ann Occup Hyg. 2011;55(3):272-85.
30. Viegas C, Dias M, Carolino E, Sabino R. Culture media and sampling collection method for Aspergillus spp. assessment: tackling the gap between recommendations and the scientific evidence. Atmosphere. 2020;12(1):23.
31. Shourie A, Girdhar A, Singhal K, Rawat C, Chapadgaonkar SS. Biocontaminants in indoor environments: occurrence, spread, and prevention. In: Shah MP, editor. Airborne biocontaminants and their impact on human health. Hoboken, NJ: Wiley; 2024.
32. Al-Shaarani AA, Pecoraro L. A review of pathogenic airborne fungi and bacteria: unveiling occurrence, sources, and profound human health implication. Front Microbiol. 2024;15:1428415.
33. Green BJ, Tovey ER, Beezhold DH, Perzanowski MS, Acosta LM, Divjan AI, et al. Surveillance of fungal allergic sensitization using the fluorescent halogen immunoassay. J Mycol Med. 2009;19(4):253-61.
34. Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. Ann Occup Hyg. 2003;47(3):187-200.
35. Contos P, Murphy NP, Kayll ZJ, Morgan T, Vido JJ, Decker O, et al. Rewilding soil and litter invertebrates and fungi increases decomposition rates and alters detritivore communities. Ecol Evol. 2024;14(3):e11128.
36. Zock JP, Jarvis D, Luczynska C, Sunyer J, Burney P. Housing characteristics, reported mold exposure, and asthma in the European Community Respiratory Health Survey. J Allergy Clin Immunol. 2002;110(2):285-92.
37. Vaksmaa A, Guerrero-Cruz S, Ghosh P, Zeghal E, Hernando-Morales V, Niemann H. Role of fungi in bioremediation of emerging pollutants. Front Mar Sci. 2023;10:1070905.
38. Weryszko-Chmielewska E, Kasprzyk I, Nowak M, Sulborska A, Kaczmarek J, Szymanska A, et al. Health hazards related to conidia of Cladosporium—biological air pollutants in Poland, central Europe. J Environ Sci (China). 2018;65:271-81.
39. Wang C, Zhang J, Du J, Zhang P, Zhao Z, Shi W, et al. Rapid degradation of norfloxacin by VUV/Fe2+/H2O2 over a wide initial pH: process parameters, synergistic mechanism, and influencing factors. J Hazard Mater. 2021;416:125893.
40. Gašpert T. Personal Protective Equipment (PPE). In: Principles of nursing infection prevention control: introduction and global context of Infection Prevention and Control (Volume 1). Cham: Springer; 2025. p. 109-18.
41. Rengasamy A, Zhuang Z, BerryAnn R. Respiratory protection against bioaerosols: literature review and research needs. Am J Infect Control. 2004;32(6):345-54.
42. Lin X, Li Y, Chen T, Min S, Wang D, Ding M, et al. Effects of wearing personal protective equipment during COVID-19 pandemic on composition and diversity of skin bacteria and fungi of medical workers. J Eur Acad Dermatol Venereol. 2022;36(9):1612-22.
43. Solé M, Chatzinotas A, Sridhar K, Harms H, Krauss G. Improved coverage of fungal diversity in polluted groundwaters by semi-nested PCR. Sci Total Environ. 2008;406(1-2):324-30.
44. Pasanen AL. A review: fungal exposure assessment in

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

indoor environments. Indoor Air. 2001;11(2).
45. Rüllke M, Meyer F, Schmitz K, Blase H, Tamayo E, Benz JP. A novel luciferase-based reporter tool to monitor the dynamics of carbon catabolite repression in filamentous fungi. Microb Biotechnol. 2024;17(9):e70012.
46. Hashimoto K, Kawakami Y. Effectiveness of airborne fungi removal by using a HEPA air purifier fan in houses. Biocontrol Sci. 2018;23(4):215-21.
47. Agache I, Annesi-Maesano I, Cecchi L, Biagioni B, Chung F, D'Amato G, et al. EAACI guidelines on environmental science for allergy and asthma—recommendations on the impact of indoor air pollutants on the risk of new-onset asthma and on asthma-related outcomes. Allergy. 2025;80(3):651-76.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]