SJKUMS
Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences
No.2/ Apr-May 2026;31(2):180-190
DOI: 10.22034/31.2.180
https://sjku.muk.ac.ir

Review Article

Mobile Laboratories in Disaster: A Scoping Review of Applications, Operational Challenges, and Strategic Implications

Seyed Ahmad Bathaei[1], Fatemeh Mollarahimi Maleki[2], Shabbou Bahramian[3], Mohammadhasan Yousefi[4], Tahereh Zarei Taher[5,6*]

[1.] Assistant Professor of Health in Disasters and Emergencies, Department of Disasters and Emergencies, Faculty of Allied Medical Sciences, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
[2.] Department of Social and Family Medicine, Faculty of Medicine, Qom University of Medical Sciences and Health Services, Qom, Iran
[3.] Ph.D. Candidate, Department of Tissue Engineering and Applied Cell Sciences, Faculty of Medicine, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
[4.] Ph.D. Candidate, Department of Tissue Engineering and Applied Cell Sciences, Faculty of Medicine, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
[5.] Student Research Committee, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
[6.] Ph.D. Candidate, Department of Tissue Engineering and Applied Cell Sciences, Faculty of Medicine, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

Article history:
Received: October 14, 2025
Revised: February 22, 2026
Accepted: July 08, 2026
ePublished: July 16, 2026

***Corresponding author:** Tahereh Zarei Taher, Student Research Committee, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
Ph.D. Candidate, Department of Tissue Engineering and Applied Cell Sciences, Faculty of Medicine, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

E-mail: tzareitaher@yahoo.com

Abstract

Background and Aim: Mobile laboratories have emerged as critical assets in crisis response; however, existing research in this field has been reported sporadically across various types of crises, and no comprehensive framework exists for analyzing their applications. The present scoping review aims to provide a comprehensive description and classification of published research on the applications, operational challenges, and strategic implications of mobile laboratories in disaster management, with an emphasis on crisis types, their efficacy, and recent trends in this evolving field. The review is also designed to identify the main research gaps and suggest recommendations for future research plans.

Materials and Methods: Following the PRISMA-ScR guidelines and the five-stage framework by Arksey and O'Malley, a systematic search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, Magiran, IranMedex, SID, and IranDoc databases for articles published between 2000 and 2024. Search terms included crisis, disaster, mobile laboratory, disaster preparedness, and disaster management in Persian sources, and (Disaster, Mobile Laboratory, Mobile Lab, Disaster management, Deployable lab, and Disaster preparation) in English sources. Eligible studies included empirical research, case reports, and systematic reviews related to the deployment of mobile laboratories in crisis conditions, published in Persian or English and with full text available. Two independent researchers performed the title/abstract and full-text screening stages. Data extraction focused on crisis type, operational challenges, and strategic implications.

Results: Among 1,262 identified records, 13 studies met the selection criteria. Three main themes were identified: 1) Diagnostic and monitoring applications in pandemics and natural disasters; 2) Operational challenges including logistical limitations and standardization issues; and 3) Strategic implications in governance and global health security. Mobile laboratories demonstrated significant impact in disaster management, including reduction of test turnaround time and enabling rapid testing capabilities.

Conclusion: While mobile laboratories serve as multi-purpose platforms across all phases of the crisis management cycle, their potential has not been fully realized due to fragmented standards. An emerging trend focuses on developing World Health Organization-approved operational standards and cost-benefit analyses, and there is increasing international interest in formulating competency-based training frameworks.

Keywords: Disaster management, Disaster preparedness, Mobile laboratories, Scoping review

Please cite this article as follows: Bathaei SA, Mollarahimi Maleki F, Bahramian Sh, Yousefi MH, Zarei Taher T. Mobile Laboratories in Disaster: A Scoping Review of Applications, Operational Challenges, and Strategic Implications. SJKUMS. 2026;31(2):180-190. DOI: 10.22034/31.2.180.

Copyright © 2026 Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits copying and redistributing the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

SJKUMS
مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان
دوره ۳۱، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۴۰۵،صفحات:۱۸۰-۱۹۰
https://sjku.muk.ac.ir

مقاله مروری

آزمایشگاه‌های سیار در بلایا: یک مرور دامنه‌گستر بر کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی

سیداحمد بطحائی[۱]، فاطمه ملارحیمی ملکی[۲]، شببو بهرامیان[۳]، محمدحسن یوسفی[۴]، طاهره زارعی طاهر[۵،۶*]

۱. استادیار، گروه سلامت در بلایا و فوریت‌ها، دانشکدهٔ پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم، قم، ایران
۲. گروه پزشکی اجتماعی و خانواده، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم، قم، ایران
۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بافت و علوم سلولی کاربردی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
۴. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بافت و علوم سلولی کاربردی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم. ایران
۵. کمیتهٔ تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
۶. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بافت و علوم کاربردی سلولی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲
ویرایش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷
انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۲۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی کردستان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول**: طاهره زارعی طاهر، کمیتهٔ تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران ؛ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بافت و علوم کاربردی سلولی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

ایمیل: tzareitaher@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: آزمایشگاه‌های سیار به‌عنوان دارایی‌های حیاتی در پاسخ به بحران مطرح شده‌اند، اما پژوهش‌های موجود در این حوزه به‌صورت پراکنده در انواع مختلف بحران‌ها گزارش شده‌اند و چهارچوب جامعی برای تحلیل کاربردهای آن‌ها وجود ندارد. هدف این مرور دامنه‌گستر، ارائهٔ توصیف و طبقه‌بندی جامع پژوهش‌های منتشرشده دربارهٔ کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی آزمایشگاه‌های سیار در زمینهٔ مدیریت بلایا با تأکید بر انواع بحران‌ها و کارایی آن‌ها و روندهای اخیر در این حوزهٔ در حال تکامل است. همچنین، این بررسی برای شناسایی شکاف‌های اصلی تحقیقاتی و پیشنهاد توصیه‌هایی برای طرح‌های تحقیقاتی آینده طراحی شده است.

مواد و روش‌ها: مطابق با دستورالعمل PRISMA-ScR و چهارچوب پنج‌مرحله‌ای آرکسی و اومالی، جست‌وجوی سیستماتیک در پایگاه‌های پابمد، اسکوپوس، وب آو ساینس، ساینس دایرکت، گوگل اسکولار، مگیران، ایران‌مدکس، سید و ایران‌داک برای مقالات منتشرشده در بازهٔ زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با کلیدواژه‌های بحران، بلایا، آزمایشگاه‌های سیار، آمادگی و مدیریت بلایا در منابع فارسی و (Disaster و Mobile Laboratory و Mobile Lab و Disaster management و Deployable lab و Disaster preparation) در منابع انگلیسی انجام گرفت. مطالعات واجد شرایط شامل پژوهش‌های تجربی، گزارش‌های موردی و مرورهای سیستماتیک مرتبط با استقرار آزمایشگاه‌های سیار در شرایط بحران و به زبان‌های فارسی یا انگلیسی با متن کامل در دسترس بودند. دو پژوهشگر مستقل مراحل غربالگری عنوان/چکیده و متن کامل را انجام دادند. استخراج داده‌ها بر نوع بحران، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی متمرکز بود.

یافته‌ها: از میان ۱۲۶۲ رکورد شناسایی‌شده، ۱۳ مطالعه معیارهای انتخاب را داشتند. سه مضمون اصلی شناسایی شد: ۱. کاربردهای تشخیصی و نظارتی در همه‌گیری‌ها و بلایای طبیعی؛ ۲. چالش‌های عملیاتی شامل محدودیت‌های لجستیکی و استانداردسازی؛ ۳. پیامدهای راهبردی در حکمرانی و امنیت بهداشت جهانی. آزمایشگاه‌های سیار تأثیر قابل‌توجهی در در مدیریت بلایا، از جمله در کاهش زمان گردش آزمایش و امکان انجام تست سریع داشتند.

نتیجه‌گیری: اگرچه آزمایشگاه‌های سیار به‌عنوان بسترهای چندکاره در تمامی مراحل چرخهٔ مدیریت بحران عمل می‌کنند، ظرفیت آن‌ها به‌دلیل پراکندگی استانداردها به‌طور کامل محقق نشده است. روند جدیدی در توسعهٔ استانداردهای عملیاتی مورد تأیید سازمان جهانی بهداشت و تحلیل‌های هزینه‌فایده در حال ظهور است و علاقهٔ بین‌المللی فزاینده‌ای برای تدوین چهارچوب‌های آموزشی مبتنی‌بر صلاحیت‌ها وجود دارد.

واژگان کلیدی: آزمایشگاه‌های سیار، مدیریت بلایا، مرور گستره‌ای، آمادگی بلایا

استناد: بطحائی، سیداحمد؛ ملارحیمی ملکی، فاطمه؛ بهرامیان، شببو؛ یوسفی، محمدحسن؛ زارعی طاهر، طاهره. آزمایشگاه‌های سیار در بلایا: یک مرور دامنه‌گستر بر کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، خرداد و تیر ۱۴۰۵؛۳۱(۲):۱۸۰-۱۹۰.

مقدمه

بشر همواره در معرض انواع بحران‌ها و بلایای ناگهانی، ازجمله زلزله، سیل، سونامی و همه‌گیری‌های بیماری‌های واگیر، قرار دارد

که عواقب جانی، اقتصادی و بهداشتی گسترده‌ای را به‌دنبال دارند. براساس گزارش سازمان اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل برای آسیا و اقیانوسیه [۱]، در بازهٔ زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴، بیش از ۲/۶ میلیارد نفر در منطقهٔ آسیا و اقیانوسیه تحت‌تأثیر بلایای طبیعی قرار گرفته‌اند که این آسیب‌پذیری جغرافیایی، نیاز به ابزارهای نوین پاسخ‌گویی را دوچندان کرده است [۱]. همچنین، سازمان جهانی بهداشت [۲] بر لزوم تقویت تاب‌آوری سیستم‌های سلامت در برابر شوک‌های چندگانه تأکید دارد؛ چراکه بحران‌ها علاوه‌بر تخریب زیرساخت‌های بهداشتی، زمینه‌ساز شیوع ثانویهٔ بیماری‌ها و تشدید نابرابری‌های دسترسی به خدمات درمانی هستند [۳]. در این میان، بررسی سریع و دقیق مشکلات بهداشتی پس از وقوع بلایا به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی مدیریت بحران مطرح است، اما فقدان زیرساخت‌های تشخیصی در مناطق آسیب‌دیده، چالشی ساختاری در مسیر پاسخ‌دهی مؤثر ایجاد کرده است [۴].

یکی از ابزارهای نوین که امکان فراهم‌کردن خدمات تشخیصی، تحلیلی و پژوهشی پیشرفته را در مناطق تحت‌تأثیر بلایای طبیعی در شرایط بحران یا حتی در مناطق دورافتاده و فاقد امکانات فراهم می‌کند، آزمایشگاه‌های سیار است که به‌عنوان راهکار نوین مطرح شده است و با حمل تجهیزات پیشرفته، امکان تشخیص سریع بیماری‌ها، تحلیل نمونه‌ها و ارائهٔ داده‌های فوری را فراهم می‌کند [۵]. توسعهٔ این آزمایشگاه‌ها در مدیریت آمادگی، واکنش و بازیابی در برابر حوادث حائز اهمیت است و با پرداختن به چالش‌های موجود در زیرساخت‌ها، امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌های واقعی در زمان بحران را فراهم می‌کند. به‌ویژه، در طول بیماری‌های همه‌گیر مانند کرونا، آزمایشگاه‌های سیار می‌توانند در انجام آزمایش‌های سریع، شناسایی نقاط داغ و ردیابی جهش‌های ویروس مؤثر باشند [۶]. به‌طور مشابه، پس از زلزله یا نشت مواد شیمیایی، آزمایشگاه‌های سیار به ارزیابی سطح آلودگی و تضمین سلامت و ایمنی عمومی افراد کمک می‌کنند [۷].

نسخه‌های اولیهٔ آزمایشگاه‌های سیار اغلب شامل تنظیمات ابتدایی بود که در تریلرها یا وسایل نقلیه با ظرفیت محدود قرار می‌گرفت. از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲، آزمایشگاه‌های سیار در کشورهای اوراسیا و آفریقا برای کمک به شرایط اضطراری بهداشتی و بحران‌های بشردوستانه مستقر شدند و در مناطق دورافتاده در هنگام شیوع بیماری ابولا و همچنین در طول همه‌گیری کووید-۱۹، پشتیبانی تخصصی ارائه کردند [۸]. اگرچه آزمایشگاه‌های سیار ازجمله اجزای حیاتی نیروی کار اضطراری بهداشت جهانی هستند و در کشورهای مختلف، ازجمله ایالات متحده، آلمان و بریتانیا، در زمان مدیریت بلایا استفاده شده‌اند، تنها تعداد محدودی از این آزمایشگاه‌ها ظرفیت انجام آزمایش‌های تشخیصی پیشرفته مانند تست مولکولی کرونا را دارند که این نشان‌دهندهٔ ضعف در تجهیزات مورد نیاز و آمادگی آزمایشگاه است. در سال‌های اخیر، توجه پژوهشگران به موانع سیستمی در استقرار مؤثر آزمایشگاه‌های سیار افزایش یافته است. مطالعهٔ سیستماتیک موشا و همکاران، که ۳۲ استاندارد بین‌المللی را بررسی کرد، نشان داد تنها ۱۲ درصد از این اسناد معیارهای مشخصی برای ارزیابی کیفیت آزمایش‌های انجام‌شده در شرایط میدانی ارائه می‌دهند؛ این یافته حاکی از فقدان چهارچوب‌های یکپارچه برای کنترل کیفیت، آمادگی عملیاتی و ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌های سیار بود [۹].

مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد که هرچند مطالعات محدود و پراکنده‌ای در زمینهٔ آزمایشگاه‌های سیار انجام شده است، استاندارد مدونی دراین‌باره وجود ندارد و با توجه به اینکه چالش‌های زیادی در عملیاتی‌کردن این نوع آزمایشگاه در زمان بلایا وجود دارد، نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه وجود دارد. با توجه به گستردگی و پراکندگی حوزهٔ پژوهشی و همچنین فقدان مرورهای پیشین که به‌صورت یکپارچه به کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی پرداخته باشند، انجام مرور دامنه‌گستر ضروری است. این روش، برخلاف مرور سیستماتیک که بر پاسخ به سؤالات خاص متمرکز است، به نقشه‌برداری از تمام شواهد موجود، شناسایی شکاف‌های دانشی و ارائهٔ چهارچوب مفهومی برای پژوهش‌های آینده کمک می‌کند. این رویکرد به‌ویژه برای حوزه‌های نوظهور با ادبیات پراکنده توصیه می‌شود و با رعایت دستورالعمل PRISMA-ScR، شفافیت روش‌شناختی را تضمین می‌کند. بنابراین، این مطالعه با هدف نقشه‌برداری جامع از کاربردهای آزمایشگاه‌های سیار در سه دسته بحران (همه‌گیری‌ها، بلایای طبیعی، حوادث شیمیایی ـ زیستی)، تحلیل چالش‌های عملیاتی در چهار سطح (لجستیکی، ایمنی زیستی، نیروی انسانی، حکمرانی) و استخراج پیامدهای راهبردی برای تقویت تاب‌آوری سیستم‌های سلامت طراحی شده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان سلامت در تدوین استانداردهای عملیاتی، بهینه‌سازی تخصیص منابع و تقویت ظرفیت پاسخ به بحران‌های آینده کمک شایانی کند.

روش کار

این مطالعه به‌عنوان مرور دامنه‌گستر مطابق با چهارچوب پنج‌مرحله‌ای پیشنهادی آرکسی و اومالی (Arksey & O'Malley, 2005) و با رعایت دستورالعمل گزارش‌دهی PRISMA-ScR [۱۰] طراحی و اجرا شد. هدف اصلی این رویکرد، نقشه‌برداری جامع از دامنهٔ شواهد موجود در حوزهٔ کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی آزمایشگاه‌های سیار در مدیریت بحران‌های چندبعدی و نه صرفاً ترکیب کمّی شواهد یا ارائهٔ توصیه‌های بالینی قطعی است.

استراتژی جست‌وجو

در این مطالعهٔ مروری، برای جست‌وجوی منابع علمی معتبر و مجلات بین‌المللی از پایگاه‌های علمی مگیران (Magiran)، ایران مدکس (IranMedex)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (Information Database Scientific (SID))، ایران‌داک (Irandoc)، گوگل اسکولار (Google Scholar)، اسکوپوس (Scopus)، ساینس دایرکت (Science direct)، پابمد (PubMed)، وب آو ساینس (Web of sciences) و گزارش‌های سازمان‌های بهداشتی (مانند سازمان بهداشت جهانی و مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌های آمریکا) استفاده شد. مطالعات مربوط به استفاده از آزمایشگاه‌های سیار از سال ۲۰۰۰ تاکنون با کلیدواژه‌های بحران، بلایا، آزمایشگاه‌های سیار، آمادگی و مدیریت بلایا در منابع فارسی و معادل‌های مش (MeSH) آن (Disaster و Mobile Laboratory و Mobile Lab و Disaster management و Deployable lab و Disaster preparation) در منابع انگلیسی به‌صورت ترکیبی و با استفاده از عملگرهای بولین AND و OR انجام شد.

علاوه‌بر جست‌وجوی الکترونیک، فهرست منابع مقالات منتخب و گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت و مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌های آمریکا (CDC) به‌منظور شناسایی مطالعات خاکستری (Gray Literature) دستی بررسی شد. متخصص حوزهٔ مدیریت بحران و بلایا کلمات کلیدی را تعیین کرد و جست‌وجوی عبارات در پایگاه‌های اطلاعاتی مذکور بر عهدهٔ این متخصص بود. سپس، یکی از همکاران پژوهش جست‌وجوی تکمیلی منابع و پایگاه‌ها را انجام داد تا از کفایت جست‌وجوی اطلاعات اطمینان حاصل شود. جست‌وجو به مطالعاتی محدود شد که به زبان‌های فارسی یا انگلیسی منتشر شده بودند. تمام نتایج حاصل‌شده به نرم‌افزار EndNote وارد شد و موارد تکراری با استفاده از عملکرد خودکار و غربالگری دستی شناسایی و حذف شدند.

معیارهای ورود و خروج

مطالعات واجد شرایط شامل پژوهش‌های تجربی کمّی، کیفی و مختلط، گزارش‌های موردی عملیاتی، مطالعات مشاهده‌ای و مرورهای سیستماتیک بودند که به‌صورت مستقیم به کاربرد، طراحی، استقرار، یا چالش‌های عملیاتی آزمایشگاه‌های سیار در سه دسته بحران، شامل همه‌گیری‌های بیماری‌های واگیر مانند ابولا، کووید-۱۹، بلایای طبیعی ناگهانی مانند زلزله، سیل، سونامی و حوادث شیمیایی ـ زیستی پرداخته بودند. مطالعاتی در تحلیل نهایی گنجانده شدند که هر جنبه‌ای از استقرار آزمایشگاه‌های سیار را در شرایط بحران مطالعه کرده بودند و به زبان‌های فارسی یا انگلیسی با متن کامل در دسترس منتشر شده بودند. مقالات نوشته‌شده به‌عنوان دیدگاه‌های شخصی، نامه‌های به سردبیر فاقد تحلیل عمیق، چکیده‌های کنگره بدون دسترسی به متن کامل، مطالعات مرتبط با آزمایشگاه‌های ثابت یا سیستم‌های غیرسیار و مقالات منتشرشده قبل از سال ۲۰۰۰ یا به زبان‌های غیرانگلیسی و غیرفارسی حذف شدند.

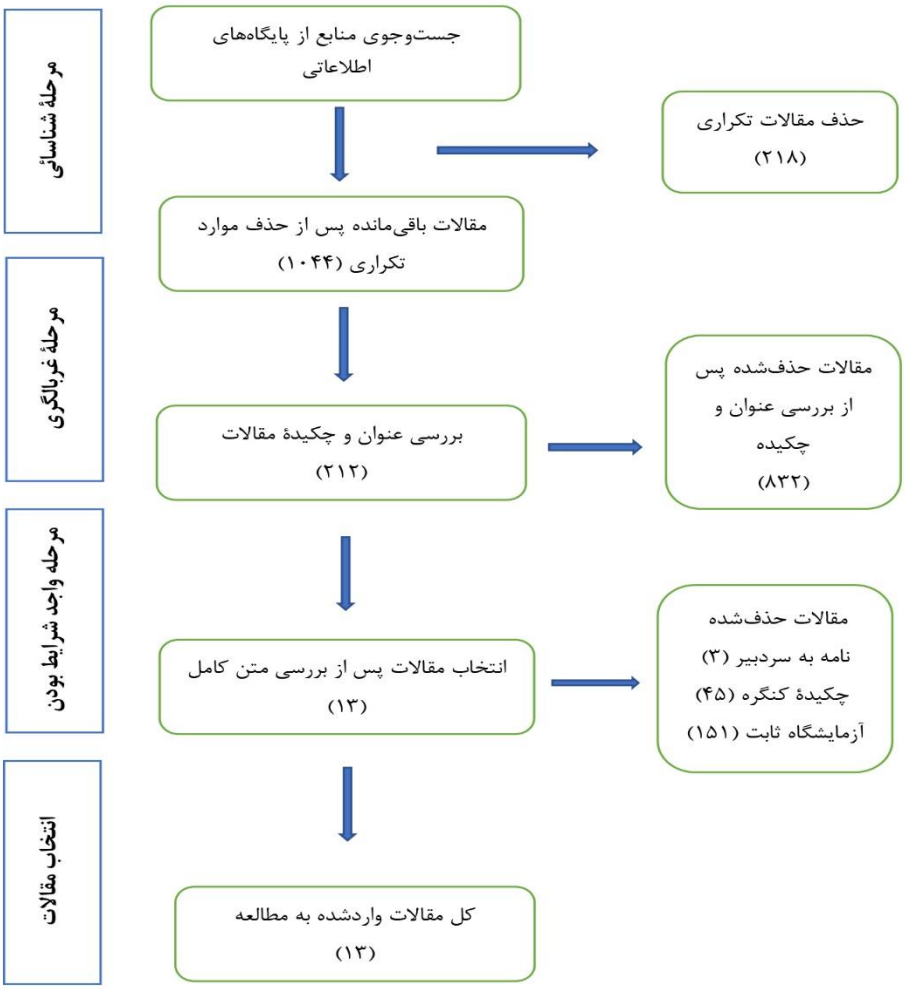
دو پژوهشگر مستقل فرایند غربالگری را انجام دادند و در صورت به‌توافق‌نرسیدن، نویسنده مسئول نظر می‌داد. پس از حذف موارد تکراری با استفاده از نرم‌افزار EndNote نسخهٔ X9، فرایند سه‌مرحله‌ای غربالگری براساس دستورالعمل PRISMA-ScR اجرا شد. در مجموع، ۱۲۶۲ رکورد در جست‌وجوی اولیه شناسایی شد که پس از حذف ۲۱۸ مورد تکراری، ۱۰۴۴ رکورد برای غربالگری عنوان و چکیده وارد شد. در این مرحله، ۸۳۲ مقاله براساس ارتباط‌نداشتن با موضوع اصلی حذف شدند. ۲۱۲ مقالهٔ باقی‌مانده برای بررسی متن کامل انتخاب شدند که پس از اعمال دقیق معیارهای ورود و خروج، ۱۳ مطالعهٔ نهایی وارد فرایند تحلیل کیفی شدند. دلایل اصلی حذف در مرحلهٔ متن کامل عبارت بودند از: تمرکزنکردن بر آزمایشگاه سیار به‌عنوان مؤلفهٔ اصلی مطالعه، گزارش‌ندادن داده‌های عملیاتی یا تشخیصی قابل استخراج و دسترسی‌نداشتن به متن کامل. تمام مراحل انتخاب در نمودار جریان PRISMA-ScR مستندسازی شد و نمودار پریزما دربارهٔ انتخاب مطالعات به‌منظور ورود به تحلیل در شکل ۱ نشان داده شده است.

استخراج و تحلیل داده‌ها

در مرحلهٔ بعد، نویسندهٔ مسئول، مقالات و نتایج اصلی آن‌ها را بررسی کرد و در نهایت، تجزیه‌وتحلیل متن کامل مطالعات صورت گرفت و ویژگی‌های لازم برای آزمایشگاه‌های سیار و روش‌های توسعه و بهبود آن سنجیده شد. به‌منظور استخراج داده‌ها از فرم استخراج داده استفاده شد که شامل بخش‌هایی ازجمله نام نویسندگان، سال انتشار، هدف مطالعه، نوع مطالعه و یافتهٔ اصلی مطالعه بود. داده‌های کلیدی از هر مطالعه شامل نام نویسندگان، سال انتشار، کشور محل اجرا، نوع بحران مورد بررسی، طراحی مطالعه، اهداف پژوهشی و یافته‌های اصلی مرتبط با کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی آزمایشگاه‌های سیار، استخراج شد. فراآیند استخراج داده‌ها را دو پژوهشگر به‌صورت مستقل انجام دادند و سپس با همکاری نویسندهٔ مسئول تلفیق شد.

تحلیل داده‌ها به‌صورت کیفی و تماتیک انجام گرفت و یافته‌ها در سه حوزهٔ مفهومی اصلی کاربردهای تشخیصی و نظارتی، چالش‌های عملیاتی شامل آمادگی، استقرار و کنترل کیفیت و پیامدهای راهبردی شامل تاب‌آوری سیستم‌های سلامت، دسته‌بندی و تحلیل شدند. در تطابق با استانداردهای مرورهای

گستره‌ای، ارزیابی کیفیت مطالعات انجام نشد؛ زیرا هدف اصلی این نوع مرور شناسایی گسترهٔ شواهد و شکاف‌های دانشی است، نه قضاوت دربارهٔ اعتبار داخلی مطالعات منفرد براساس توصیه‌های رسمی PRISMA-ScR و کاکرین. این رویکرد روش‌شناختی امکان ارائهٔ چهارچوبی جامع و یکپارچه از نقش آزمایشگاه‌های سیار در مدیریت بحران‌های متنوع را فراهم آورد و زمینه‌ساز شناسایی شکاف‌های پژوهشی برای مطالعات آینده شد.



شکل ۱. نمودار پریزما دربارهٔ انتخاب مطالعات برای ورود به تحلیل

نتایج

جستوجو در مجموع ۱۲۶۲ رکورد را از تمام پایگاه‌های داده شناسایی کرد که پس از بررسی اولیه و حذف الکترونیکی و دستی موارد تکراری، به ۱۰۴۴ رکورد کاهش یافت. اعمال معیارهای ورود و خروج روی عناوین و چکیده‌های این رکوردها، ۸۳۲ رکورد را حذف کرد و ۲۱۲ رکورد را برای غربالگری بیشتر متن کامل باقی گذاشت. در نهایت، ۱۳ مطالعه در تحلیل نهایی گنجانده شدند. مشخصات مقالات واردشده در مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات مقالات مرورشده براساس به‌کارگیری آزمایشگاه سیار در مدیریت بلایا

عنوان مقاله/ نام نویسنده /سال انتشار/ محل مطالعه	هدف مطالعه	نوع مطالعه	مهم‌ترین یافته‌ها
سیستم‌های موبایل تست آزمایشگاهی و تشخیصی: مسائل و دیدگاه های بحرانی در حوزهٔ بلایای بزرگ [۷] سرجیو ماتاچینی و همکاران ۲۰۱۸ ایتالیا	بررسی اثربخشی واحدهای بهداشتی سیار نظامی سازمان صلیب سرخ ایتالیا در شرایط بحران‌های بزرگ یا حوادث شیمیایی، بیولوژیکی، رادیولوژیکی، هسته‌ای و منفجره	مطالعهٔ مروری	انعطاف‌پذیری و توانایی واکنش سریع سیستم‌های سیار در شرایط اضطراری و حوادث بزرگ را تأیید کرد و آزمایشگاه‌های ماژولار پوشش‌دار نمونه‌ای عملی از این ظرفیت‌ها هستند.

استفاده از یک آزمایشگاه سیار برای پاسخ‌گویی سریع به حوادث [۱۵] کیت نورمن و همکاران ۲۰۰۹ استرالیا	بررسی و توسعهٔ سیستم آزمایشگاهی سیار برای پشتیبانی از تحقیقات پزشکی قانونی و مدیریت بحران در حوادث شیمیایی در جهت اقدام سریع و دقیق	مطالعهٔ اصلی	آزمایشگاه سیار به‌ویژه در مناطق دورافتاده و در حوادث خطرناک نقش کلیدی دارد و سرعت و انعطاف‌پذیری لازم برای پاسخ‌گویی را فراهم می‌کند.
توسعهٔ آزمایشگاه سیار برای بلایای شروع ناگهانی [۱۴] ایان مار و همکاران ۲۰۲۱ انگلستان	طراحی و آزمایش یک آزمایشگاه سیار با قابلیت عمل در شرایط دشوار محیطی ناشی از فجایع با ظهور ناگهانی در منطقهٔ آسیا و اقیانوسیه و تأمین نیازهای تشخیصی پزشکی با کیفیت بالا و به‌صورت خودکفا	مطالعهٔ اصلی	طراحی و توسعهٔ آزمایشگاه سیار توانسته است به‌طور قابل‌توجهی ظرفیت تشخیصی نیروهای پزشکی استرالیا را در پاسخ به فجایع با رخداد ناگهانی افزایش دهد.
آزمایشگاه سیار در سیرالئون در طول شیوع ابولا: اقدامات و پیامدها [۱۱] چن زالیانگ و همکاران ۲۰۱۵ سیرالئون	بررسی ضرورت و کارایی تشخیص زودهنگام بیماری ویروس ابولا (EVD) در مناطق غرب آفریقا با استفاده از آزمایشگاه‌های سیار	نامه به سردبیر	استفاده از آزمایشگاه سیار در مقابله با همه‌گیری ابولا (EVD) در غرب آفریقا (۲۰۱۳–۲۰۱۵) در شناسایی و کنترل بیماری نقش بسزایی داشت و توانمندی‌های چین را در پاسخ به بحران‌های بهداشتی بین‌المللی نشان داد.
مشکل مسیریابی آزمایشگاه سیار برای تست کووید ۱۹ با توجه به ظرفیت محدود بیمارستان‌ها [۲۱] ایوان کریستینتو سینگیه و همکاران ۲۰۲۰ کرهٔ جنوبی	بررسی و تعیین مسیر بهینهٔ آزمایشگاه‌های سیار برای پوشش حداکثر نیازهای منطقه‌ای در شرایط همه‌گیری کووید ۱۹ و ارائهٔ قوانین مسیریابی و روشی برای موقعیت‌دهی بهینهٔ این آزمایشگاه‌ها	مطالعهٔ مروری	استفاده از یک روش حل مبتنی‌بر مدل حمل‌ونقل برای تعیین مسیر بهینه و تخصیص وظایف آزمایشگاه سیار در زمان همه‌گیری کووید-۱۹ می‌تواند به‌صورت مؤثر و با زمان محاسبهٔ بسیار کوتاه، برنامه‌ریزی مناسبی برای پشتیبانی از بیمارستان‌ها فراهم کند.
رویکردی جدید برای استانداردسازی مطالعات چند مرکزی: فناوری آزمایشگاه سیار برای بانک نمونهٔ زیست‌محیطی آلمان [۲۲] دومینیک لرمن و همکاران ۲۰۱۴ آلمان	بررسی الزامات اجرایی و ارزیابی امکان‌سنجی توسعه و به‌کارگیری یک آزمایشگاه اپیدمیولوژی سیار (epiLab) با قابلیت‌های ایمنی بیولوژیکی سطح ۲ (BSL-2)	مطالعهٔ اصلی	استفاده از آزمایشگاه سیار امکان جمع‌آوری و تجزیهٔ استانداردشدهٔ نمونه‌های بیولوژیکی انسانی را در شرایط میدانی فراهم کرده است، به‌طوری که کیفیت نمونه‌ها حفظ می‌شود و قابلیت استفاده برای مطالعات آینده وجود دارد.
ارزیابی برنامهٔ درسی آزمایشگاه سیار آنگولا (CHERRT) برای واکنش به بلایا و همه‌گیر [۹] مایکل دی اوونز و همکاران ۲۰۲۰ ویریجینیا	بررسی اثربخشی برنامهٔ آموزشی آزمایشگاه سیار تیم واکنش سریع (RRT) در آنگولا با استفاده از خودارزیابی مشارکت‌کنندگان و تحلیل نقش این آزمایشگاه در بهبود پاسخ‌گویی به بیماری‌های عفونی شدید مانند کرونا در مناطق با محدودیت منابع و کمبود ظرفیت	مطالعهٔ اصلی	ارائهٔ برنامهٔ آموزشی استاندارد برای تیم واکنش سریع به همه‌گیری (CHERRT) در آنگولا، بر پایهٔ راهنمایی‌های WHO، ظرفیت این کشور را برای پاسخ سریع و تشخیص دقیق در محل حادثه با استفاده از آزمایشگاه سیار افزایش داده است.
استانداردهای عملیاتی موجود برای استقرار میدانی آزمایشگاه‌های متحرک واکنش سریع [۱۸] رند موشا و همکاران ۲۰۲۴ آلمان	بررسی چگونگی توسعهٔ حداقل استانداردهای عملیاتی برای آزمایشگاه‌های سیار واکنش سریع (RRML) در پاسخ به شیوع بیماری‌ها و بحران‌های بشردوستانه	مطالعهٔ مروری سیستماتک	آزمایشگاه‌های سیار پاسخ‌گویی سریع (RRMLs) در پرکردن شکاف‌های آزمایشگاهی و تشخیصی در زمان بحران‌های بهداشتی نقش کلیدی دارند.

Lab-in-a-van: پاسخ سریع آزمایش سارس کووید ۲ با آزمایشگاه سیار [۱۲] سوزان ای بالارد و همکاران ۲۰۲۲ استرالیا	بررسی فرایند طراحی، اجرا و عملکرد یک آزمایشگاه سیار (LabVan) برای تشخیص سریع SARS-CoV-2 در مقایسه با آزمایشگاه مرجع مرکزی	مطالعهٔ مشاهده‌ای	استفاده از آزمایشگاه سیار (LabVan) می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی زمان گردش آزمایش (Turnaround Time - TAT) را کاهش دهد و در نتیجه به بهترشدن مدیریت همه‌گیری در مناطق با جمعیت‌های آسیب‌پذیر و فاقد واکسن کمک کند.
دستورالعمل‌های آزمایشگاه‌های سیار برای آزمایش‌های تشخیصی مولکولی کووید۱۹ [۳۰] کیونگ رو و همکاران ۲۰۲۲ کرهٔ جنوبی	بررسی دستورالعمل‌ها و الزامات لازم برای انجام آزمایش‌های تشخیصی مولکولی کووید ۱۹ در آزمایشگاه‌های سیار	مطالعهٔ مروری	راه‌اندازی و عملکرد موفقیت‌آمیز آزمایشگاه‌های سیار در فراهم‌کردن استانداردهای مدیریت کیفیت و ایمنی برای تست‌های کووید-۱۹ انجام و تأیید شد.
چالش‌ها و دیدگاه‌ها دربارهٔ استفاده از آزمایشگاه‌های سیار در هنگام شیوع و استفاده از آن‌ها برای ارزیابی واکسن [۲۰] ترینا راسین و همکاران ۲۰۱۹ کانادا	بررسی چگونگی اطمینان از قابلیت مقایسه و یکسان‌بودن سنجش‌های مولکولی در آزمایشگاه‌های مرکزی و آزمایشگاه سیار برای ارزیابی روش‌های درمانی در شرایط شیوع بیماری	مطالعهٔ اصلی	آزمایشگاه‌های سیار به ابزارهای ضروری در پاسخ سریع و مؤثر به بیماری‌های همه‌گیر تبدیل شده‌اند و با پیشرفت‌های فناوری و همکاری‌های بین‌المللی، نه‌تنها در تشخیص، بلکه در ارزیابی واکسن‌ها و درمان‌های جدید نیز نقش دارند.
شبکه‌های آزمایشگاهی سیار جامعهٔ آفریقای شرقی (EAC) در کنیا، بوروندی، تانزانیا، رواندا، اوگاندا و سودان جنوبی، از اجرای پروژه تا پاسخ به شیوع بیماری‌های دنگی، ابولا، کووید-۱۹ و بیماری‌های مستعد همه‌گیری [۱۳] آفارا و همکاران ۲۰۲۱ آفریقای شرقی	بررسی راهبردها و شناسایی عوامل کلیدی موفقیت برای اجرای پروژه‌های آزمایشگاه‌های سیار در آفریقا و توسعهٔ چهارچوبی جهانی برای پروژه‌های مشابه	مطالعهٔ اصلی	شبکهٔ آزمایشگاه‌های سیار درحال‌حاضر برای تحقق کامل ظرفیت خود نیازمند یکپارچه‌شدن با سیستم‌های کیفیت ملی و منطقه‌ای، دریافت اعتبار رسمی و گسترش دامنهٔ فعالیت خود است.
ارائهٔ آموزش به‌موقع آزمایشگاه و ایمنی زیستی در طول شیوع ابولا در غرب آفریقا: حمایت از آمادگی بهتر برای شرایط اضطراری بهداشتی آینده [۱۹] بنتاهیر و همکاران ۲۰۲۲ آفریقای شرقی	بررسی کارایی و نقش آزمایشگاه سیار بیولوژیکی برای موارد اضطراری در مدیریت شیوع بیماری‌های عفونی نظیر ابولا	مطالعهٔ توصیفی	استفاده از آزمایشگاه سیار به‌طور مؤثری به توانمندسازی دانشمندان محلی برای استفاده از فناوری‌های تشخیصی پیشرفته در بحران ابولا کمک کرد و ظرفیت عملیاتی آزمایشگاه را افزایش داد.

تمامی این مقالات به زبان انگلیسی بودند. مطالعات منتخب در کشورهای ایتالیا، سیرالئون، انگلستان، استرالیا، کرهٔ جنوبی، آلمان، آمریکا و آفریقا انجام شده بود. مطالعات تحت سه مضمون اصلی دسته‌بندی شدند: ۱. کاربردهای آزمایشگاه‌های سیار در مدیریت همه‌گیری‌ها و بحران‌های بهداشتی؛ ۲. کاربردهای آزمایشگاه‌های سیار در بلایای طبیعی ناگهانی؛ ۳. کاربردهای آزمایشگاه‌های سیار در حوادث شیمیایی‌زیستی‌رادیولوژیکی. مضمون اول شامل یافته‌هایی بود که نقش استراتژیک آزمایشگاه‌های سیار را در پاسخ به همه‌گیری‌ها و کاهش زمان گردش آزمایش نشان می‌داد. در شیوع ابولا در سیرالئون، آزمایشگاه سیار چین زمان تشخیص را از ۵ تا ۷ روز به کمتر از ۲۴ ساعت کاهش داد که این موضوع مستقیماً به شناسایی به‌موقع زنجیرهٔ انتقال و کاهش مرگ‌ومیر کمک شایانی کرد [۱۱]. به‌طور مشابه، در همه‌گیری کووید-۱۹، سیستم «Lab-in-a-van» در استرالیا با کاهش ۵۰ درصدی زمان پاسخ‌گویی، دسترسی به تست‌های مولکولی را در جوامع محروم تسهیل کرد [۱۲]. شبکهٔ آزمایشگاه‌های سیار جامعهٔ آفریقای شرقی نیز با ایجاد چهارچوبی منطقه‌ای برای همکاری‌های بین‌کشوری، در مقابلهٔ هم‌زمان با دنگی، ابولا و کووید-۱۹، عملکرد موفقی از خود نشان داد [۱۳]. این یافته‌ها حاکی از آن است که آزمایشگاه‌های سیار نه‌تنها ابزاری برای تشخیص سریع هستند، بلکه به‌عنوان بستری برای تقویت همکاری‌های بین‌المللی در پاسخ به بحران‌های بهداشتی عمل می‌کنند.

مضمون دوم شامل کاربردهای آزمایشگاه‌های سیار در بلایای طبیعی ناگهانی بود. در بلایای طبیعی مانند زلزله و سیل، این آزمایشگاه‌ها علاوه‌بر پشتیبانی تشخیصی پایه، شامل اندازه‌گیری الکترولیت‌ها، اوره، کراتینین و گازهای خون، در نظارت محیطی و

ارزیابی آلودگی‌های ثانویه کاربرد دارند. مطالعهٔ Marr و همکاران [۱۴] نشان داد که طراحی مدولار آزمایشگاه سیار با قابلیت مقاومت در برابر شرایط محیطی سخت مانند دمای بالا، رطوبت و لرزش، می‌تواند نیازهای تشخیصی بیمارستان‌های صحرایی را در شرایط فاجعه‌بار برآورده کند. همچنین، مطالعهٔ Mattaccini و همکاران بر نقش این واحدها در ارزیابی کیفیت آب و خاک پس از بلایا تأکید کرد که برای پیشگیری از بیماری‌های واگیر ثانویه حیاتی است [۷]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که آزمایشگاه‌های سیار در فاز پاسخ به بلایای طبیعی، هم به‌عنوان ابزاری برای پشتیبانی مستقیم از بیماران و هم به‌عنوان سیستمی برای نظارت بر سلامت محیطی عمل می‌کنند.

مضمون سوم شامل کاربردهای آزمایشگاه‌های سیار در حوادث شیمیایی‌زیستی‌رادیولوژیکی بود. در حوادث شیمیایی و پزشکی قانونی، آزمایشگاه‌های سیار با رعایت استانداردهای ایمنی زیستی BSL-2 تا BSL-4، امکان تحلیل نمونه‌های خطرناک را در محل فراهم می‌کنند. مطالعهٔ Norman و همکاران نشان داد که این واحدها با سیستم مدیریت هوا و استقلال انرژی، می‌توانند در حوادث شیمیایی پاسخ سریع و ایمن ارائه دهند [۱۵]. همچنین، تجربهٔ واحدهای نظامی مانند MASH در عملیات‌های نظامی و واحدهای تخصصی گواهی بر انعطاف‌پذیری این فناوری در سناریوهای عملیاتی متنوع است [۱۶، ۱۷]. این یافته‌ها حاکی از آن است که آزمایشگاه‌های سیار با تطبیق‌پذیری بالا، می‌توانند در طیف گسترده‌ای از حوادث CBRN از تحلیل نمونه‌های شیمیایی خطرناک تا پشتیبانی پزشکی قانونی کاربرد داشته باشند.

تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که چالش‌های عملیاتی آزمایشگاه‌های سیار در چهار سطح قابل دسته‌بندی است که شامل چالش‌های لجستیکی مانند مسیریابی بهینه برای پوشش حداکثری مناطق آسیب‌دیده، هماهنگی با بیمارستان‌های ثابت و تأمین سوخت و انرژی در شرایط بحران است. چالش‌های ایمنی زیستی شامل فقدان استانداردهای یکپارچه برای کنترل کیفیت و مدیریت پسماندهای زیستی در شرایط میدانی است. چالش‌های نیروی انسانی شامل کمبود پرسنل آموزش‌دیده برای بهره‌برداری از تجهیزات پیشرفته در شرایط استرس‌زاست و مطالعهٔ Owens و همکاران نشان داد که برنامه‌های آموزشی مبتنی‌بر استانداردهای سازمان جهانی بهداشت می‌توانند ظرفیت پاسخ‌گویی کشورهای با منابع محدود را افزایش دهند [۹]. چالش‌های حکمرانی نیز وجود دارد و مطالعهٔ سیستماتیک اخیر Mushasha و همکاران تأکید کرد که تاکنون استانداردهای یکپارچه‌ای برای آمادگی، کنترل کیفیت، آموزش پرسنل و ارزیابی عملکرد در سطح جهانی تدوین نشده است و این موضوع مانع از مقایسهٔ سیستماتیک عملکرد این واحدها شده است [۱۸].

به‌طور خلاصه، یافته‌های مطالعه نشان داد که در اکثر مطالعات استفاده از آزمایشگاه سیار به‌طور مؤثری به افزایش ظرفیت برای پاسخ سریع و تشخیص دقیق در محل حادثه، به‌ویژه در مدیریت بحران‌های همه‌گیری بیماری‌ها کمک کرده است [۱۳، ۱۹، ۲۰]. طبق نتایج این مطالعات، باوجود مشکلاتی که در زمینهٔ آمادگی آزمایشگاه‌های سیار وجود دارد، به‌کارگیری آن در زمان مواجهه با بلایا می‌تواند به‌طور چشمگیری به مدیریت بحران کمک کند [۲۲، ۲۱، ۱۸، ۱۲]. آزمایشگاه‌های سیار به‌عنوان منابع حیاتی برای انجام آزمایش‌های پزشکی، نظارت بر محیط زیست، ارزیابی کیفیت آب، بررسی ایمنی مواد غذایی و حتی تحقیقات پزشکی قانونی عمل می‌کنند [۱۲]. این واحدهای سیار طراحی شده‌اند تا قابلیت‌های آزمایشگاهی را مستقیماً به مناطق بحران و آسیب‌دیده ارائه دهند و از تشخیص و ارزیابی به‌موقع در بخش‌های مختلف، ازجمله مراقبت‌های بهداشتی، نظارت بر محیط زیست و ایمنی مواد غذایی اطمینان حاصل کنند [۱۴].

بحث

در مرور دامنه‌گستر حاضر، ۱۳ مطالعه برای بررسی کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی آزمایشگاه‌های سیار در بلایا ارزیابی شدند. مطالعات شامل‌شده در این بررسی در کشورهای مختلفی در سراسر جهان انجام شده‌اند. بااین‌حال، توزیع جغرافیایی مطالعات نشان‌دهندهٔ تمرکز بیشتر در کشورهای با درآمد بالا بود که این یافته با الگوهای مشاهده‌شده در تحقیقات مربوط به مدیریت بلایا هم‌خوانی دارد. متأسفانه، این موضوع جدید نیست و مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که کمتر از ۱ درصد از تحقیقات مرتبط با بلایا در کشورهای درحال‌توسعه انجام شده است، درحالی‌که این کشورها صحنهٔ حدود ۸۵ درصد از بلایای جهان هستند [۱۵]. میزان ۵۸ درصد از مطالعات مربوط به کاربردهای تشخیصی و نظارتی آزمایشگاه‌های سیار بود که با توجه به نقش حیاتی تشخیص سریع و دقیق در مدیریت بحران‌ها تعجب‌آور نیست. کارایی ضعیف در تشخیص و پایش در شرایط بلایا با پیامدهای بالینی نامطلوب و استفادهٔ ناکارآمد از منابع مرتبط است.

فعالیت‌هایی که مطالعات مختلف گزارش دادند، در کاهش زمان گردش آزمایش و امکان انجام تست سریع تأثیر مثبتی داشتند. بااین‌حال، طراحی مطالعهٔ بسیاری از مطالعات فهرست‌شده تحت این مضمون، طراحی شبه‌آزمایشی با استفاده از تحلیل پیش‌آزمون ـ پس‌آزمون بود و مطالعات کمتری از طراحی تصادفی‌شده پیروی کردند. درحالی‌که طراحی تصادفی‌شده به‌عنوان طراحی بهینه برای مطالعات مداخله‌ای در نظر گرفته می‌شود، اجرا ممکن است با موانع لجستیکی یا اخلاقی مانع شود. نقص اصلی طراحی‌های شبه‌آزمایشی وجود گروه‌های مقایسه‌ای نامشخص است. تکیه بر تحلیل درون‌آزمودنی (within-subjects) موضوعی قابل بحث است و می‌تواند به نتیجه‌گیری‌های کاذب یا سوگیرانه بینجامد، به‌ویژه زمانی که در مطالعات مبتنی‌بر مداخلات عملیاتی یا فناوری به کار گرفته شود. متأسفانه، این دسته از ایرادهای طراحی مطالعه به‌طور مکرر در پژوهش‌های حوزهٔ مدیریت بحران و آزمایشگاه‌های سیار مشاهده می‌شود و می‌تواند کیفیت شواهد قابل استخراج از

این مطالعات را تحت‌تأثیر قرار دهد.

بسیاری از مطالعات شامل‌شده در این بررسی اثربخشی ادغام نوآوری‌های فناورانه در توسعه و استقرار آزمایشگاه‌های سیار برای مدیریت بلایا را نشان دادند. آزمایشگاه‌های سیار با ترکیب انعطاف‌پذیری، قابلیت حمل و استفاده از فناوری‌های پیشرفته، ظرفیت‌های تشخیصی و تحقیقاتی را در محیط‌های دورافتاده و متأثر از بلایا تقویت کرده‌اند. نورمن و همکاران در بررسی خود نشان دادند که آزمایشگاه سیار نه‌تنها آزمایشگاهی قابل حمل است، بلکه نمادی از تلفیق فناوری و ایمنی در حوزهٔ پزشکی قانونی و علوم دفاعی است [۱۶]. این آزمایشگاه با توجه به ویژگی‌هایی مانند سیستم مدیریت هوا، استقلال انرژی و مطابقت با استانداردهای بین‌المللی، به‌عنوان ابزاری قابل اعتماد برای تجزیه‌وتحلیل نمونه‌ها در شرایط مختلف مطرح است. همچنین کاربردهای انعطاف‌پذیر این واحدها در بلایای طبیعی، شیوع بیماری‌ها و عملیات نظامی با رعایت الزامات ایمنی و استانداردهای بین‌المللی، می‌توانند در سناریوهای بحرانی به‌طور مؤثر عمل کنند [۲۰].

مطالعات نشان داد که این آزمایشگاه‌ها برای تشخیص و تحلیل نمونه‌ها از قابلیت زیادی دارند؛ مانند انفارکتوس میوکارد، سرطان ریه و سکتهٔ مغزی که به‌طور مطلوب در سناریوهای بلایای طبیعی، در طول شیوع بیماری‌های عفونی شدید و در مبارزات نظامی استفاده می‌شوند [۲۵-۱۶،۲۳، ۱۷، ۲۶-۲۸]. آزمایشگاه‌های سیار با الزامات ایمنی زیستی و استانداردهای بین‌المللی، ابزاری قابل اعتماد برای پاسخ‌گویی به نیازهای تشخیصی و تحقیقاتی در شرایط بحرانی هستند [۲۲] و می‌توانند با تعیین دقیق‌تر میزان نیاز به منابع پزشکی مورد نیاز در منطقهٔ آسیب‌دیده، از اتلاف منابع محدود جلوگیری کنند [۲۹]. تحلیل یافته‌های مطالعات منتخب نشان می‌دهد که آزمایشگاه‌های سیار در سه فاز اصلی چرخهٔ بحران، شامل آمادگی، پاسخ و بازسازی، کارکردهای متمایزی ایفا می‌کنند.

در فاز آمادگی، ایجاد شبکه‌های منطقه‌ای مانند شبکهٔ آزمایشگاه‌های سیار جامعهٔ آفریقای شرقی که در شش کشور آفریقا مستقر شده است، زمینه‌ساز همکاری‌های بین‌المللی و استانداردسازی پروتکل‌های عملیاتی پیش از وقوع بحران بوده است [۱۲]. این شبکه‌سازی نه‌تنها زمان استقرار را کاهش داده، بلکه امکان اشتراک‌گذاری دانش فنی و منابع را در سطح منطقه‌ای فراهم آورده است. در فاز پاسخ، کاهش چشمگیر زمان گردش آزمایش از مهم‌ترین دستاوردهای این فناوری محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که در شیوع ابولا در سیرالئون، آزمایشگاه سیار چین این زمان را از پنج تا هفت روز به کمتر از ۲۴ ساعت کاهش داد و مستقیماً به کنترل زنجیرهٔ انتقال کمک شایانی کرد [۷]. به‌طور مشابه، سیستم Lab-in-a-van در استرالیا در دوران همه‌گیری کووید-۱۹، زمان پاسخ‌گویی را تا ۵۰ درصد بهبود بخشید و دسترسی به تست‌های مولکولی را در جوامع محروم تسهیل کرد [۷].

در فاز بازسازی، این واحدها با ارزیابی آلودگی‌های محیطی و نظارت بر سلامت جمعیت آسیب‌دیده، در بازگشت تدریجی به وضعیت عادی نقش حیاتی ایفا می‌کنند [۷]. چالش‌های عملیاتی آزمایشگاه‌های سیار در چهار سطح قابل دسته‌بندی است. چالش‌های لجستیکی شامل مسیریابی بهینه برای پوشش حداکثری مناطق آسیب‌دیده [۲۱]، هماهنگی با بیمارستان‌های ثابت و تأمین سوخت و انرژی در شرایط بحران است. مطالعهٔ Marr و همکاران نشان داد که طراحی مدولار با قابلیت مقاومت در برابر شرایط محیطی سخت مانند دمای بالا، رطوبت و لرزش، می‌تواند این چالش‌ها را تا حدی کاهش دهد [۱۴]. بااین‌حال، فقدان استانداردهای بین‌المللی برای ارزیابی عملکرد لجستیکی این واحدها مانع از بهینه‌سازی سیستم‌های استقرار شده است.

چالش‌های ایمنی زیستی شامل تضمین یکپارچگی سیستم‌های مدیریت هوا و کنترل آلودگی در شرایط میدانی است. مطالعهٔ Roh و همکاران دستورالعمل‌هایی برای کنترل کیفیت در آزمایشگاه‌های سیار کووید-۱۹ ارائه داد، اما این دستورالعمل‌ها هنوز برای بحران‌های دیگر تدوین نشده‌اند [۳۰]. همچنین، مطالعهٔ Bentahir و همکاران بر ضرورت آموزش به‌موقع پرسنل در محل حادثه برای رعایت پروتکل‌های ایمنی زیستی تأکید کرد [۱۹]. چالش نیروی انسانی شامل کمبود پرسنل آموزش‌دیده برای بهره‌برداری از تجهیزات پیشرفته در شرایط استرس‌زاست و مطالعهٔ Owens و همکاران نشان داد که برنامه‌های آموزشی مبتنی‌بر استانداردهای سازمان جهانی بهداشت می‌توانند ظرفیت پاسخ‌گویی کشورهای با منابع محدود را افزایش دهند [۹].

چالش‌های حکمرانی نیز وجود دارد و مطالعهٔ سیستماتیک اخیر Mushasha و همکاران تأکید کرد که تاکنون استانداردهای یکپارچه‌ای برای آمادگی، کنترل کیفیت، آموزش پرسنل و ارزیابی عملکرد در سطح جهانی تدوین نشده است [۱۸]. اگرچه آزمایشگاه‌های سیار با ترکیب فناوری‌های پیشرفته و انعطاف‌پذیری، نقشی کلیدی در مدیریت بحران‌ها و شیوع بیماری‌ها ایفا می‌کنند، با توجه به آمادگی نامطلوب بیمارستان‌ها برای مقابله با بلایا و شرایط بحرانی [۳۱]، میزان آمادگی آزمایشگاه‌های سیار موضوع مهمی است که باید در مطالعات جدید به آن با دقت پرداخته شود. ضمن اینکه تأثیر استفاده از آزمایشگاه سیار در کاهش زمان پاسخ‌گویی به بحران‌ها و ارزیابی هزینه‌های عملیاتی آن در مقایسه با آزمایشگاه‌های ثابت می‌تواند موضوعی جذاب برای مطالعات آینده باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، توسعهٔ دستورالعمل‌های استاندارد ملی برای استقرار و عملیاتی‌کردن آزمایشگاه‌های سیار و همچنین طراحی مدل‌های ارزیابی هزینه ـ اثربخشی برای استقرار آزمایشگاه سیار در انواع بلایا در نظر گرفته شود.

محدودیت‌های این مطالعه شامل استناد تنها به مقالات منتشرشده توسط متخصصان است که ممکن است به ازدست‌دادن داده‌های منتشرنشده منجر شود. همچنین، بررسی بر آزمایشگاه‌های سیار در زمینهٔ مدیریت بلایا متمرکز بود که اساساً نیازمند رویکرد چندرشته‌ای است. با توجه به نقش مستقیم مهمی که آزمایشگاه‌های سیار در مدیریت بلایا ایفا می‌کنند، ممکن است

به تحقیقات بیشتری، که به‌طور خاص با نیازهای عملیاتی و استانداردهای این واحدها طراحی شده باشد، نیاز باشد. رویکردی چندرشته‌ای، که شامل مؤسسات آکادمیک، محققان مدیریت بحران و رهبران صنعت باشد، ممکن است پلتفرمی را برای ساخت دستورکارهای تحقیقاتی مبتنی‌بر واقعیت در سطوح ملی و بین‌المللی فراهم کند.

محدودیت‌ها

یافته‌های این مرور دامنه‌گستر ممکن است با محدودیت استراتژی جست‌وجو به مطالعات منتشرشده به زبان‌های فارسی و انگلیسی محدود شود که این موضوع می‌تواند به ازدست‌دادن داده‌های مهم منتشرشده به زبان‌های دیگر منجر شود. همچنین، این بررسی به‌طور خاص بر کاربردها، چالش‌های عملیاتی و پیامدهای راهبردی آزمایشگاه‌های سیار در زمینهٔ مدیریت بلایا متمرکز بود، درحالی‌که این حوزه ذاتاً نیازمند رویکردی چندرشته‌ای با مشارکت ذی‌نفعان مختلف، ازجمله متخصصان بهداشت عمومی، مهندسان، مدیران بحران و سیاست‌گذاران است. علاوه‌بر این، ناهمگونی طراحی مطالعات واردشده و تنوع در انواع بحران‌های مورد بررسی، امکان مقایسهٔ مستقیم و تجمیع کمّی یافته‌ها را محدود کرد. تعداد محدود مطالعات واجد شرایط (۱۳ مطالعه) نیز ممکن است در تعمیم‌پذیری نتایج تأثیرگذار باشد. همچنین، با توجه به ماهیت پویا و سریع‌التغییر فناوری‌های مرتبط با آزمایشگاه‌های سیار، برخی از یافته‌ها ممکن است با پیشرفت‌های آتی نیازمند به‌روزرسانی باشند. در نهایت، اگرچه جست‌وجوی مطالعات خاکستری انجام شد، دسترسی‌نداشتن به برخی گزارش‌های عملیاتی یا اسناد داخلی سازمان‌های پاسخ‌دهنده می‌تواند در جامعیت شواهد تأثیر بگذارد.

نتیجه‌گیری

این مرور دامنه‌گستر ویژگی‌های اصلی مطالعات منتشرشده در زمینهٔ درحال تکامل آزمایشگاه‌های سیار در مدیریت بلایا را برجسته می‌کند. اگرچه نقش قابل‌توجه آزمایشگاه‌های سیار در مراحل پس از رخداد بلایا، شامل فازهای پاسخ و بازیابی به‌دلیل انعطاف‌پذیری، کارایی و واکنش سریع مشهود است، ظرفیت آن‌ها برای افزایش توانایی جوامع در مقابلهٔ مؤثر با بحران‌ها و کمک به مدیران بحران برای تشخیص دقیق و تصمیم‌گیری‌های سریع درحال ظهور است. علاوه‌بر این، استفاده از این واحدها به‌عنوان بسترهای جداگانه برای پردازش نمونه‌های شیمیایی و بیولوژیک، خطر آلودگی یا اختلال در عملکرد آزمایشگاه‌های اصلی را کاهش می‌دهد. بنابراین، آزمایشگاه‌های سیار نه‌تنها به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تجزیه‌وتحلیل سریع در بحران‌ها شناخته می‌شوند، بلکه ظرفیت جامعهٔ علوم پزشکی را برای مقابله با بلایای طبیعی و غیرمنتظره به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهند. بااین‌حال، علاقهٔ فزاینده‌ای برای پرداختن به چالش‌های موجود در استقرار این آزمایشگاه‌ها در مراحل آمادگی قبل از رخداد بلایا توسط مدیران بحران و مسئولان وجود دارد تا ظرفیت کامل آن‌ها محقق شود.

تشکر و قدردانی

از تمامی نویسندگانی که از مطالعات آن‌ها برای انجام این پژوهش استفاده شد، تشکر و قدردانی می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

مراحل اجرایی این مطالعه در معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی قم و در کمیتهٔ اخلاق (IR.MUQ.REC.1401.033) تأیید شده است و تمام اصول اخلاق در پژوهش در این مطالعه رعایت شده است.

تضاد منافع

هیچ‌کدام از نویسندگان این مطالعه، افراد یا دستگاه‌ها تعارض منافعی برای انتشار این مقاله ندارند.

REFERENCES

1. ESCAP U. Overview of natural disasters and their impacts in Asia and the Pacific 1970-2014. 2015.[Link]
2. Europe W. Guidance for rapid response mobile laboratory (RRML) classification. 2021. Link. [Link]
3. Khan Y, O'Sullivan T, Brown A, Tracey S, Gibson J, Généreux M, et al. Public health emergency preparedness: a framework to promote resilience. BMC Public Health. 2018;18(1):1344. [DOI: 10.1186/s12889-018-6250-7]
4. Bathaei SA, Abolghasem-Gorji H, Delgoshaei B, Khankeh HR. Emergency health evaluation of affected population during disasters: are there new approaches? J Educ Health Promot. 2019;8:2. [DOI: 10.4103/jehp.jehp_115_18]
5. Talisuna AO, Okiro EA, Yahaya AA, Stephen M, Bonkoungou B, Musa EO, et al. Spatial and temporal distribution of infectious disease epidemics, disasters and other potential public health emergencies in the World Health Organization Africa region, 2016-2018. Glob Health. 2020;16:1-12. [DOI: 10.1186/s12992-019-0540-4]
6. Ballard SA, Graham M, David D, Hoang T, Donald A, Sait M, et al. Lab-in-a-van: rapid SARS-CoV-2 testing response with a mobile laboratory. EBioMedicine. 2022;79:103983. [DOI: 10.1016/j.ebiom.2022.103983]
7. Mattaccini S, Cortelazzo A, Foglietta G, Transerici M, Coltellaro A, Gemmellaro O, et al. Laboratory and diagnostic test mobile systems: critical issues and perspectives in the field of major disasters. Biomedicine & Prevention. 2017;4:136. [DOI: 10.1016/j.ebiom.2022.103987]
8. Guo Z, Li L, Song Y, Xu J, Huang J. Screening high-risk groups and the general population for SARS-CoV-2 nucleic acids in a mobile biosafety laboratory. Front Public Health. 2021;9:708476. [DOI: 10.3389/fpubh.2021.708476]
9. Owens MD, Lloyd ML, Brady TM, Gross R. Assessment of the Angolan (CHERRT) mobile laboratory curriculum for disaster and pandemic response. West J Emerg Med. 2020;21(3):526. [DOI: 10.5811/westjem.2020.4.47385]
10. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. Ann Intern Med. 2018;169(7):467-73. [DOI: 10.7326/M18-0850]
11. Chen Z, Chang G, Zhang W, Chen Y, Wang X, Yang R,

Liu C. Mobile laboratory in Sierra Leone during outbreak of Ebola: practices and implications. Sci China Life Sci. 2015;58:918-21. [DOI: 10.1007/s11427-015-4912-6]
12. Ballard SA, Graham M, David D, Hoang T, Donald A, Sait M, et al. Lab-in-a-van: rapid SARS-CoV-2 testing response with a mobile laboratory. EBioMedicine. 2022;79:103983. [DOI: 10.1016/j.ebiom.2022.103983]
13. Affara M, Lagu HI, Achol E, Karamagi R, Omari N, Ochido G, et al. The East African Community (EAC) mobile laboratory networks in Kenya, Burundi, Tanzania, Rwanda, Uganda, and South Sudan—from project implementation to outbreak response against dengue, Ebola, COVID-19, and epidemic-prone diseases. BMC Med. 2021;19:1-15. [DOI: 10.1186/s12916-021-02028-y]
14. Marr I, Francis JR, Stephens DP, Marshall K, Read DJ, Baird RW, Coatsworth N. Development of a mobile laboratory for sudden onset disasters. Disaster Med Public Health Prep. 2021;15(2):170-80. [DOI: 10.1017/dmp.2019.128]
15. Norman K, Roffey P, Royds D. Application of a mobile laboratory for real-time response to incidents. Aust J Forensic Sci. 2009;41(1):73-80. [DOI:10.1080/00450610802452236]
16. King B, Jatoi I. The mobile Army surgical hospital (MASH): a military and surgical legacy. J Natl Med Assoc. 2005;97(5):648. [Link]
17. Walter S, Kostopoulos P, Haass A, Keller I, Lesmeister M, Schlechtriemen T, et al. Diagnosis and treatment of patients with stroke in a mobile stroke unit versus in hospital: a randomised controlled trial. Lancet Neurol. 2012;11(5):397-404. [DOI: 10.1016/S1474-4422(12)70057-1]
18. Mushasha R, Paez Jimenez A, Dolmazon V, Baumann J, Jansen A, Storozhenko ON, El-Bcheraoui C. Existing operational standards for field deployments of rapid response mobile laboratories: a scoping review. Front Public Health. 2024;12:1455738. [DOI: 10.3389/fpubh.2024.1455738]
19. Bentahir M, Barry MD, Koulemou K, Gala J-L. Providing on-site laboratory and biosafety just-in-time training inside a box-based laboratory during the West Africa Ebola outbreak: supporting better preparedness for future health emergencies. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(18):11566. [DOI: 10.3390/ijerph191811566]
20. Racine T, Kobinger GP. Challenges and perspectives on the use of mobile laboratories during outbreaks and their use for vaccine evaluation. Hum Vaccin Immunother. 2019. [DOI: 10.1080/21645515.2019.1597595]
21. Singgih IK, editor. Mobile laboratory routing problem for COVID-19 testing considering limited capacities of hospitals. In: 2020 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT); 2020; IEEE. [DOI:10.1109/MECnIT48290.2020.9166664]
22. Lermen D, Schmitt D, Bartel-Steinbach M, Schröter-Kermani C, Kolossa-Gehring M, von Briesen H, Zimmermann H. A new approach to standardize multicenter studies: mobile lab technology for the German Environmental Specimen Bank. PLoS One. 2014;9(8):e105401. [DOI: 10.1371/journal.pone.0105401]
23. Gehre F, Lagu HI, Achol E, Omari N, Ochido G, Shand K, et al. The East African Community mobile laboratory network prepares for monkeypox outbreaks. J Public Health Afr. 2023;14(6):2309. [DOI: 10.4081/jphia.2023.2309]
24. Fekete A, Asadzadeh A, Ghafory-Ashtiany M, Amini-Hosseini K, Hetkämper C, Moghadas M, et al. Pathways for advancing integrative disaster risk and resilience management in Iran: needs, challenges and opportunities. Int J Disaster Risk Reduct. 2020;49:101635. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2020.101635]
25. Frieden TR, Damon I, Bell BP, Kenyon T, Nichol S. Ebola 2014—new challenges, new global response and responsibility. N Engl J Med. 2014;371(13):1177-80. [DOI: 10.1056/NEJMp1409903]
26. Alqahtani MA, Sav A, Toloo G. Disaster management education and training for paramedics: a scoping review. Disaster Med Public Health Prep. 2025;19:e207:1-11. [DOI: 10.1017/dmp.2025.10137]
27. Bathaei SA, Sheikholeslami-Kabiri F, Rahmani-Javinani S, Khahan-Yazdi I. Evaluation and comparison of hospital preparedness levels against mass-casualty disasters and the COVID-19 pandemic. J Emerg Manag. 2024;22(6):629-37. [DOI: 10.5055/jem.0840]
28. Walsh M, Shivalingappa G, Scaria K, Morrison C, Kumar B, Farnan C, et al. Mobile coronary care. Br Heart J. 1972;34(7):701. [DOI: 10.1136/hrt.34.7.701]
29. Gehre F, Lagu HI, Achol E, Omari N, Ochido G, Shand K, et al. The East African Community mobile laboratory network prepares for monkeypox outbreaks. J Public Health Afr. 2023;14(6):2309. [DOI: 10.4081/jphia.2023.2309]
30. Roh KH, Hong KH, Nam MH, Kim TS, Seong MW, Lee JK, et al. Guidelines for mobile laboratories for molecular diagnostic testing of COVID-19. Ann Lab Med. 2022;42(5):507-14. [DOI: 10.3343/alm.2022.42.5.507]
31. Bathaei SA, Sheikholeslami-Kabiri F, Rahmani-Javinani S, Khahan-Yazdi I. Evaluation and comparison of hospital preparedness levels against mass-casualty disasters and the COVID-19 pandemic. J Emerg Manag. 2024;22(6):629-37. [DOI: 10.5055/jem.0840]