

# Design of Physical Spaces in Medical Laboratories

Soroush Darafarin<sup>\*1</sup>, Sajjاده Movahedinia<sup>2</sup>, Hossein Darafarin<sup>3</sup>, Marjan R. Farzami<sup>4</sup>

1. Architect Designer, Gorgan Pathobiology Laboratory, Tehran, Iran
2. Pathology and Stem Cell Research Center, Department of Pathology, Afzalipour School of Medicine, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
3. Gorgan Pathobiology Laboratory, Tehran, Iran
4. Reference Laboratory, Health Reference Laboratory (HRL), Ministry of Health and Medical Education, Tehran, Iran

 [10.30699/ijmm.15.5.480](https://doi.org/10.30699/ijmm.15.5.480)



## ABSTRACT

**Background and Aim:** The system of architectural design, space and installation of facilities and equipment in the medical laboratory is based on a multifaceted structure. Considering these conditions increases the productivity and profitability to all the involved groups. The present study sought to understand and design of this structure.

**Materials and Methods:** This descriptive-analytical research was carried out studying the literature.

**Results:** According to the results, the adequate architectural design for a medical laboratory includes the following points: observing the separation of physical spaces, proximity of the spaces in the laboratory, the principle of flexibility in designing physical space and the ability to develop and expand the physical space, the space design and requirements to meet the mobility needs of the people with disabilities, desk designing for the disabled and the elderly, observing the minimum standards of general space and total spaces, and the number of staff considering their safety.

**Conclusion:** The design of medical laboratories, considering the cases mentioned in this report, will lead to the construction of a place that will not only meet the needs of clients but also provide comfort and safety for the staff. Such a laboratory will be more profitable by increasing the productivity, which will ultimately lead to a comprehensive profit. The errors and mistakes in the design and execution of any of these cases can cause minor and major damages.

**Keywords:** Architectural design, Medical laboratory, Physical space, Physical space separation, Safety

Received: 2021/06/12; Accepted: 2021/08/10; Published Online: 2021/09/15

## Corresponding Information:

Soroush Darafarin, Architect Designer, Gorgan Pathobiology Laboratory, Tehran, Iran  
Email: [Afarinsardar@outlook.com](mailto:Afarinsardar@outlook.com)



Copyright © 2021, This is an original open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribution of the material just in noncommercial usages with proper citation.



Use your device to scan and read the article online

Darafarin S, Movahedinia S, Darafarin H, R. Farzami M. Design of Physical Spaces in Medical Laboratories. Iran J Med Microbiol. 2021; 15 (5) :480-506

Download citation: [BibTeX](#) | [RIS](#) | [EndNote](#) | [Medlars](#) | [ProCite](#) | [Reference Manager](#) | [RefWorks](#) |

Send citation to:  [Mendeley](#)  [Zotero](#)  [RefWorks](#)

## 1. Architectural Design in a Medical Laboratory

Laboratories are made up of various structural dimensions from space, equipment and small number of staff to large laboratories including various spaces, specialized manpower, and various equipment. Accordingly, the design of laboratories should be formed based on the needs, facilities, manpower, equipment, and available space (1).

The laboratory design includes pre-design according to the user needs, situations and accesses according

to the context, flexibility of the space for the future development, equipment, staff and various activities in unpredictable cases, safety and increase in the productivity including biosafety cabinets, fire protection and prevention systems, emergency shower, well-designed exits, proper ventilation and temperature control systems, and finally physical planning (1).

Observing the minimum conditions and standards necessary for the design and implementation of a medical laboratory will not only create a suitable

space for the staff and clients, but also increase the productivity by optimizing the affairs. The shortcomings and mistakes in this context even minor can cause irreparable damages.

This study tries to examine the dimensions, requirements and standards in the field of medical laboratories design. The identifying damages and safety protocols as well as the risks involved in this case are not within the scope of this study.

## 2. Research Method

The methodology of this research was based on the descriptive and analytical method. In this research, the design of the space was demonstrated, by collecting the articles and reliable sources regarding the physical design of the laboratories. The collected sources were analyzed and cited.

## 3. Components and Stages of Architectural Design in a Medical Laboratory

### 3-1- Pre-design

One of the main stages of designing laboratories is pre-design. At this stage, the overall design is done with flexibility in the use of spaces and the possibility to move if necessary. The designer must also consider the factors such as adapting the laboratory environment to different people and devices. Compliance with the principle of flexibility in predicting the infrastructure of mechanical installations (type and capacity of units and access to the risers and so on) and electrical installations (system capacity and location of sockets) in order to allow for the intended displacements, resolves this problem well (Figure 1).

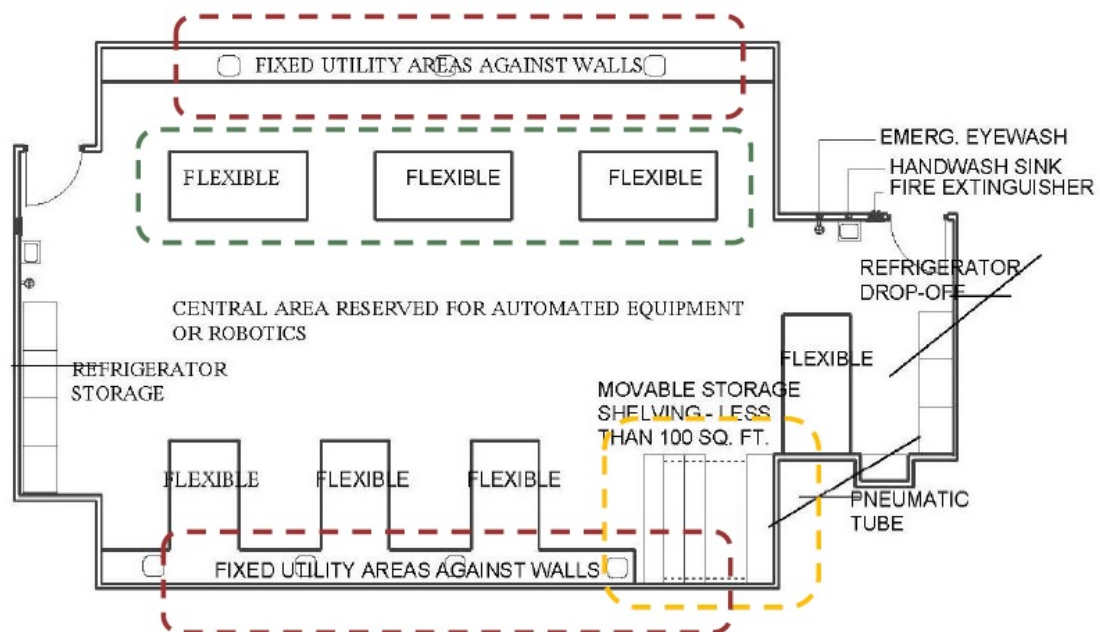


Figure 1. Schematic diagram of laboratory workspace for the mobile and flexible workstations (2).

### 3-1-1- Space Design and Requirements

#### 3-1-1-1- Proximity of Space

The related technical section in a medical laboratory should be integrated and adjacent to each other or at least as close as possible, while some laboratory spaces should be separated from other sections. The following three conditions can be considered for the proximity of spaces in the laboratory:

- **Adjoining Spaces**

For adjoining spaces, technical sections such as biochemistry, hematology, immunology and serology can be mentioned.

- **Adjacent Spaces**

For adjacent spaces, the proximity of the reception space, sampling and sample separation can be mentioned.

- **Separated Spaces**

For separated spaces these sections can be mentioned: washing and sterilization spaces, refrigerated and non-refrigerated storages, server and central UPS rooms, dining and rest room, staff locker room and technical departments including microbiology, urology, mycology, parasitology, virology, molecular laboratory and others (3).

### 3-1-1-2- Requirements in Meeting the Mobility Needs of People with Disabilities

Paying attention to the mobility needs of the disabled people in the city and building scale is one of the minimum standards of the developed countries, which in our country has not received much attention. This issue should be considered for the patients, clients and laboratory staff (3).

Among the points and requirements related to the mobility needs of the disabled people these items can be pointed. For example, the possibility of movement in all the main spaces of the laboratory, easy access considering the spaces dimensions, net width of the entrances and corridors and elevator cabs (with built-

in handrails), installation of laboratory tables with the ability to height adjust for the people in wheelchairs, the use of laboratory hoods with the ability to use while sitting, adaptation of toilets, and designing a recall or audio pager system suitable for the people with hearing problems.

Obviously, the number of these facilities at the laboratory level should be determined in proportion to the number of staff and their daily admission. These cases should be designed in a way to allow people with disabilities to enter and exit easily in emergency situations (4). Figure 2 shows an example of a space design for the people in wheelchair (5).

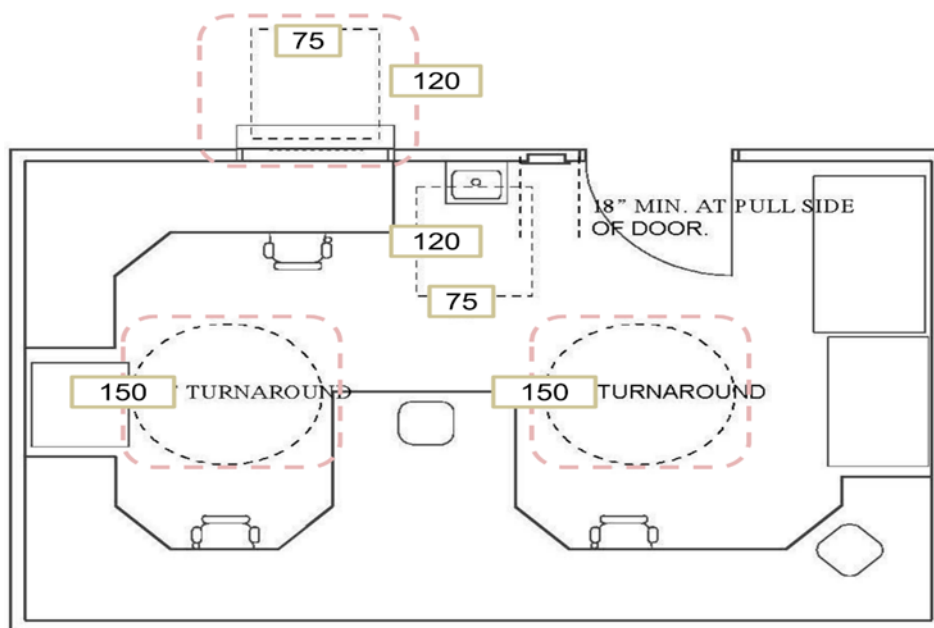


Figure 2. Minimum dimensions of desktop design for the disabled and elderlies (5).

### 3-1-2- Quality of Medical Laboratory Space

The most important factor in providing quality in a space depends on the appropriateness of the space by the user type. This proportion does not only include the quantity and size of the space, but a set of factors such as light, ventilation, electricity, water and sewage, the equipment arrangements, the type of steps and platforms, and safety levels all play roles in shaping the overall quality of a space. The existence of unnecessary columns, walls and partitions can reduce the quality of a space (6).

### 3-2- Physical Planning

#### 3-2-1- Physical Planning of Laboratory Spaces

In the design process, after pre-design, the attention is paid to the physical planning of the space. In physical planning of laboratory spaces, the required area is

determined by listing the required spaces, their user description and their communication system (5, 3).

#### 3-2-2- Quantity and Separation of Medical Laboratory Spaces

Mostly, the minimum physical space that seems sufficient at the opening of a laboratory becomes inadequate and inefficient with the development and growing process of the laboratory and the definition of new experiments and equipment and also new technical departments and staff. Sometimes even to provide a little space needed, the narrow corridors of the laboratory are inevitably used for the technical applications. Sometimes, due to financial and economic constraints or lack of prediction and information about the expansion and development of laboratory activities in the future, the minimum space is considered for the initial space. In these cases, this

space should be provided in a place where side spaces or the other floors should be available in its vicinity. With a detailed study and comprehensive information, the relative area needed to expand the space in the future should be considered (2).

At present, according to the regulations for the establishment and administration of medical laboratories, the minimum space that fits for the type of laboratory activity is 120 m<sup>2</sup> for the clinical and descriptive pathology laboratories, 100 m<sup>2</sup> for the clinical laboratories and 60 m<sup>2</sup> for the single specialized laboratories (4). A suitable space should be provided for the work in the laboratory to ensure the quality, safety and efficiency of the services, and the health and safety of the staff, patients and clients. The suitability and sufficiency of the dedicated spaces should be evaluated and determined for the activities (4).

Insufficient work space or improper design of physical space can be potentially the source of many laboratory accidents and hazards and endanger the safety of staff, such as the physical contact of staff with each other during work (with the risk of contamination with infectious, chemical and hazardous substances), or the staff contact with equipment that could result in physical injury to the staff and damage to the equipment. Therefore, the design of a laboratory should include the design of the required sections, their area and their arrangements.

### 3-2-3- Main Sections of Medical Laboratory

Every medical laboratory needs different departments. These sections include the client lounge, reception and cashier, sampling section, blood bank, supervisor room, etc. Figure 3 depicts an ideal image of a medical laboratory parts.

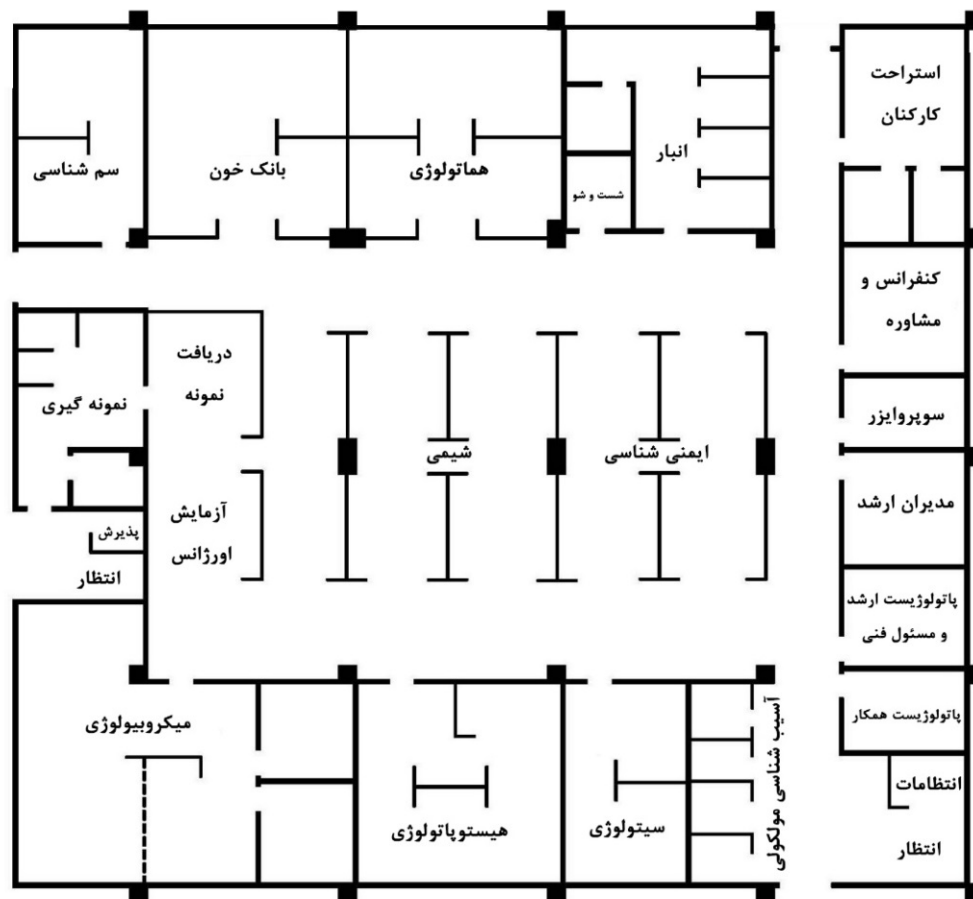


Figure 3. Schematic view of different laboratory spaces based on HMI index (2).

### 3-2-4- Separation of Physical Space

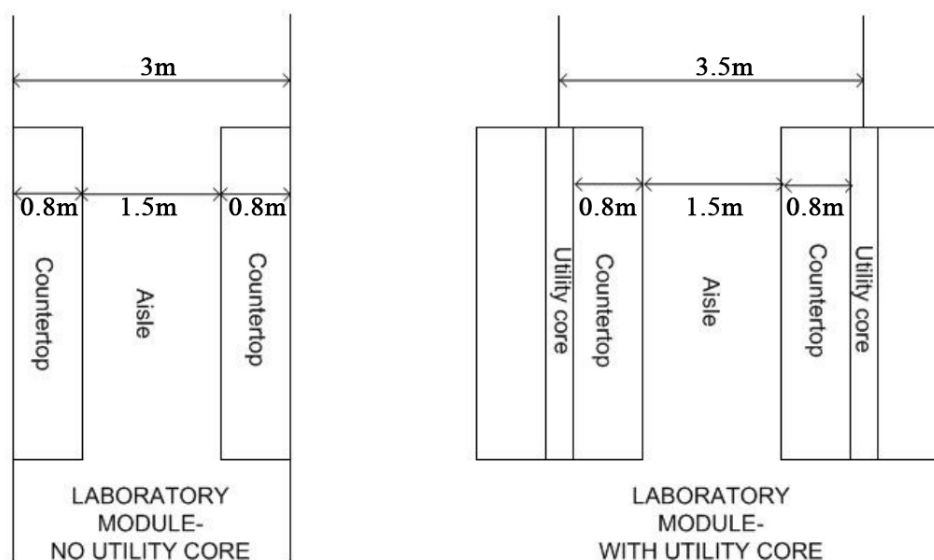
Separation and organization of physical space is the most controversial and important issue in the laboratory design that should be defined by considering the overall dimensions of the laboratory,

the number of staff, the volume of technical operations, the type of experiments, and the size of equipment in each technical department (7).

Some spaces must be defined isolated from other laboratory spaces, including the microbiology,

mycology, washing, and sterilization sections. In addition, office and sampling spaces should be separate from other spaces. The corridors between workspaces should be designed in such a way that the staff safety in the work space is maintained. The corridors should be wide if possible (8).

The minimum standard width of corridors and laboratory tables according to the laboratory design guide (GP18A2) is one and a half meters, which is shown in Figure 4 (8).



**Figure 4.** Minimum width of laboratory tables according to the laboratory design guide (6).

### 3-2-5- Controlling and Monitoring the Laboratory Physical Space

The design of physical space control systems is very necessary, in addition to the quantity and quality of the space. They include the design of audio and video systems and CCTV to control the number of active staff, movement and congestion of the patients and workflow time, the workflow of samples in workspace especially emergency samples, staff entry and exit, and also internet control from remote distance.

### 3-2-6- Add or Remove Physical Space in the Laboratory

Ideally, as the need for the space in the laboratory may increase or decrease, there should be possibility to expand or limit the physical space of the laboratory. In order to develop the space, it should be anticipated that potential lateral spaces of the laboratory will be available and usable (ability to buy or rent).

### 3-2-7- Movement in the Medical Laboratory Physical Space

Assessing the movement of staff and patients and clinical samples in the physical space is better to be drawn in a map and diagram and movement restrictions for each group to be specified; such as restricting the movement of patients to the technical

spaces and restricting the movement of staff in specific spaces (for example, unskilled staff movement in the mycobacteriology or specialized microbiology or molecular department will not have any other outcome except for the contamination of the patients samples and the occurrence of false positive results and contamination of the staff). To draw this diagram, it is suggested to first magnify the laboratory spaces (in the map) and conduct the necessary analysis to design the spaces, including location, entrance of the workstations, equipment location and other items. The real map can be drawn after simulating this map (1).

### 3-2-8- Sample Transfer System Design using Compressed air (Pneumatic System)

The design of the sample transfer system using the compressed air has been considered in the developed countries. By designing this system in hospitals, laboratory samples can be easily transferred from the clinical wards of the hospital to the sample isolation unit and from the isolation unit to the technical wards. In independent central laboratories, samples will also be transferred from the sampling unit to the isolation and technical departments. In general, the advantages of this method include quick and easy access, reduction of traffic between different departments, cost reduction and sample safe transfer.

### 3-2-9- Location and Position of the Equipment in the Physical Space

In the list of defined equipment in each physical space, except for the exact position and location of each piece of the equipment, the following items must be precisely defined and recorded (9):

- Dimensions of the equipment or device (length, width and exact height of the device) along with the minimum lateral space required for each equipment (distance from the wall and sides)
- Definition of the dimensions of the necessary peripherals for each device such as monitor, printer and UPS (preferably these peripherals should be placed in the space on the wall or behind the cabinet to provide more space for the work area)
- Definition of the power sources (required voltage and current for the device) and water and sewage system of the device
- Definition of the way to access the back and side spaces of the device during the service of large and bulky equipment (for example, it is better to place large and bulky equipment on a separate wheeled table so that, the service person can easily access the side and back spaces of the device with the least displacement and the least energy consumption).
- Prohibition of proximity of some equipment (for example, prohibition of proximity of centrifuge and microhematocrit with the cell counter, etc.)
- No proximity of the heat-sensitive equipment to the laboratory heating systems (especially ELISA desk).
- Keeping a minimum distance of 20 cm for the refrigerator to the wall for the heat exchange
- Suitable location for the equipment that generates high heat (a place with air circulation capability to prevent heat retention and damage to the equipment) and proximity of these equipment to the standard cooling systems

### 3-2-10- Laboratory Furniture Design

The laboratory furniture should have smooth and non-porous surfaces to resist the absorption of liquids and the severe effects of disinfectants. The furniture should not be positioned in such a way that makes cleaning the spilled liquids or performing routine tasks difficult. For example, placing a Class II biosafety cabinet in a confined concave space may not allow the biosafety cabinet certification to verify the cabinet panels upon re-inspection. These resources are applied specifically to the laboratories containing biological and radioactive materials (11).

Many common materials in the laboratory are chemical solvents such as formaldehyde, phenol, and ethanol, which are considered corrosive substances. The laboratory cabinets and benches must be resistant to the chemical reactions of these materials. Wooden bench covers are not suitable for this purpose because a wooden surface can absorb the liquids. Also, wood burns quickly in the event of a fire. Fiberglass is also unsuitable because it can be damaged by the use of strong disinfectants. Fiberglass also releases toxic fumes when burned (12). One of the factors that is suitable for the laboratory, is the use of sufficient natural or artificial light to ensure sufficient visibility for operational safety (13).

### 3-2-11- Physical Space Required by the Medical Laboratory Staff

The staff are one of the main and important elements of any medical laboratory. Thus, proper design of work space and their movement in the lab environment and the level of their safety in this space will be particularly effective in the staff satisfaction and final quality and overall performance of the laboratory.

The calculation of the total (technical) working space of the medical laboratory (TNS: Total Net Space) is obtained from the following equations:

$$TNS = BWS + FMI$$

$$BWS = [(AE + CWS) \times (CD + AW)]$$

The abbreviation of the different physical spaces of the medical laboratory used in this formula is given in Table 1.

### 3-3- Safety, Increased Productivity and Necessary Equipment

#### 3-3-1- Biosafety Laboratories and Their Requirements Design

Classification is based on the biosafety levels to provide information on how to protect staff and the laboratory environment against laboratory contaminations in order to achieve acceptable standards and guidelines. This information is also used to protect the health of laboratory processes by controlling the spread of various contaminants. In fact, the main purpose of the biosafety discussions in laboratories is that no experiment is more important than the safety. Therefore, it is necessary to plan and control bio-contaminations to protect against laboratory infections and control the spread of contaminants in laboratories that use contaminated and hazardous materials. Obviously, determining the type of laboratory in terms of biosafety levels can affect the way the laboratory is planned and designed.

**Table 1.** The abbreviation of the different physical spaces of the medical laboratory (8)

TNS: Total Net Space	Total technical (working) space required for the laboratory
BWS: Bench Work Space	Work space of laboratory platforms and tables
FMI : Floor Mounted Items	Items attached to the laboratory floor (either fixed or glued)
AE : Analysis Equipments	Laboratory equipment space
CWS : Clear Working Space	Clean space (without accessories) of laboratory
CD : Counter Depth	Depth (height) of counters
AW : Aisle Width	Side spaces (corridors)

In other words, biosafety is a widespread issue. Biosafety agents include personal protective equipment (PPE), four levels of biosafety cabinets, disinfectants, diagnostic methods including identification, evaluation and control of a wide range of microorganisms and environmental hazards, pathogens, viral agents, fungal agents, common human-animal agents, protozoa, and gene transfer vectors and biorisk management including regulations and guidelines for the risk assessment covering pathogenic microorganisms, allergens, toxins, aerobics, occupational medicine, and biological safety (14).

According to the definition of the World Health Organization (WHO), laboratory biosafety refers to the application of restrictive principles, technologies and methods to prevent the unintentional release of pathogens and toxins into the environment. The laboratory biosafety is applied to the set of security measures and methods used by the staff and organization to prevent the loss, theft, misuse, diversion or intentional release of pathogens and toxic substances. In the case of laboratory biosafety, in addition to physical protection, measures such as personnel management, material control and auditing, information protection, and transportation security should also be considered. Considering the above concepts, the architects and designers of the health centers should pay attention to these points in designing laboratories or hospitals (15).

### 3-3-1-1- Biosafety Laboratory Level 1 and Its Requirements

The level 1 laboratory is suitable for working with microorganisms with low risk level and laboratory personnel are adequately protected in accordance with the laboratory standards. The organisms tested in these types of laboratories do not cause disease in healthy people, and laboratory processes may be performed outdoors (outside the hood). Ventilation of this laboratory can be provided naturally.

Level 1 biosafety represents laboratories that have a basic level of safety and are based on the use of standard methods in disinfection. These laboratories are usually at the lowest level of biosafety, and

precautions including regular hand washing and the use of protective equipment such as gloves, a separate wash sink, and appropriate disinfectants to disinfect surfaces and hands are necessary. The media containing microbial culture and residues should also be autoclaved (15).

### 3-3-1-2- Biosafety Laboratory Level 2 and Its Requirements

The level 2 laboratory is suitable for working with materials containing microorganisms that are associated with human diseases and have the ability to infect by ingestion and exposure to mucous membranes and are present in the environment. Using appropriate microbiological methods, the experiments can be performed out of hood. However, if there is a risk of airborne particles, a biosafety hood should be used.

These laboratories include the health service laboratories, and diagnostic, research, and training laboratories. In these types of laboratories, a wide range of microorganisms with moderate risk are worked that exist in the community and have different pathogenicities with low risk.

In level 2 laboratories, if aerosols (particulates in the air) are slightly formed during laboratory processes, in other words, if the risks of laboratory processes are low, they can be performed on benches without protection, but if these processes produce large amounts of aerosols and increase the risk of contact with these agents, biosafety hoods should be used.

### 3-3-1-3- Biosafety Laboratory Level 3 and Its Requirements

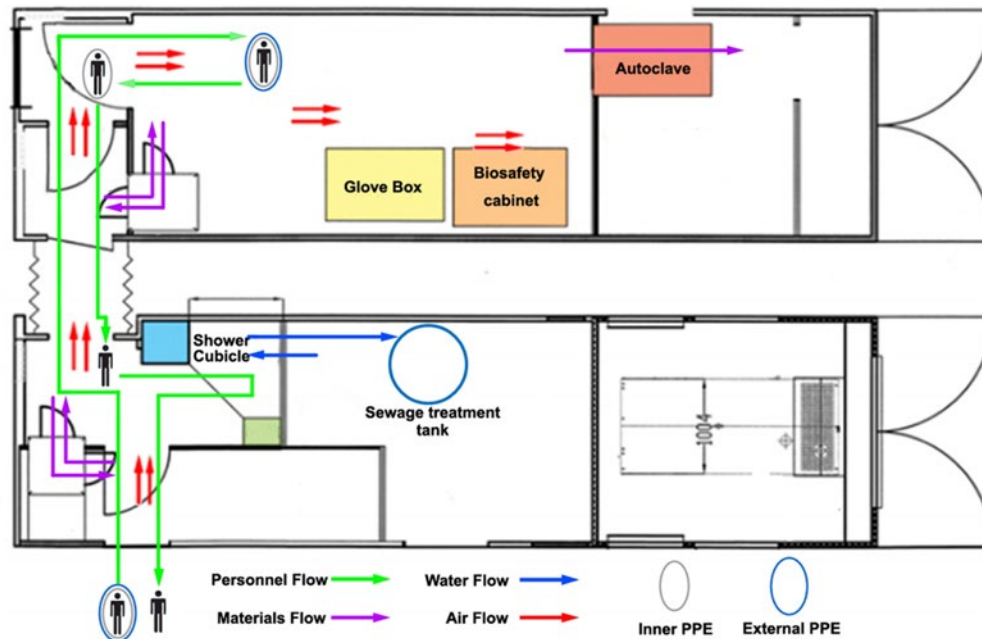
The level 3 laboratory is suitable for working on native or non-native pathogenic microorganisms that have the potential to be transmitted by the air and are dangerous to inhale or cause deadly disease. Pathogenic microorganisms in this group include MERS-COV, SARS-CoV-1, SARS-COV-2 and similar organisms (15).

Given the potential dangers of these pathogens, there are criteria for setting up a laboratory that manages the work and has the facilities to reduce the risk of microorganisms for human and environment.

At this level, laboratory experiments are performed in a confined and controlled space (4). These laboratories include specialized diagnostic and research laboratories. Level 3 biosafety represents laboratories that require the use of biosafety cabinets or hoods in accordance with the international standards and secondary protections such as negative air pressure systems.

This level of laboratory in terms of laboratory operations includes all the requirements of level 2 in

addition to the special clothing and coverings as well as controlled access (entry and exit restrictions) as well as directional airflow. In terms of safety equipment, most processes are performed in biosecurity hoods. A schematic view of a level 3 biosafety laboratory including the workspace, air, water and materials circulation, protective equipment, and entry and exit of individuals is shown in Figure 5 (16).



**Figure 5.** Schematic view of the hood location and air, water and materials circulation and the entry and exit of staff in the level 3 biosafety laboratory (12).

#### 3-3-1-4- Biosafety Laboratory Level 4 and Its Requirements

The level 4 laboratory is suitable to conduct dangerous experiments with life-threatening microorganisms that spread rapidly through aerosols in the community. In general, the laboratories where the virus is cultured are level 4, and this level of laboratory requires special requirements that must be considered in a separate building. In terms of the type of laboratory, it includes diagnostic units that are designed to detect dangerous pathogens (culture of microorganisms). These laboratories work with microorganisms that are transmitted through respiration and there is currently no suitable vaccine or treatment for them (4).

Dangerous and life-threatening pathogenic microorganisms of this group include viral hemorrhagic fever such as Marburg virus, Ebola virus, Lassa virus, Crimean Congo hemorrhagic fever and similar cases (4).

Level 4 biosafety represents laboratories that are considered very limited in terms of biosafety level and their building is located in a completely isolated area. The use of negative pressure system, shower and air lock are mandatory and are of great importance and sensitivity.

In terms of laboratory operations, it includes level 3 requirements along with air locking system at the entrance, shower at the exit, as well as special management for the proper waste disposal.

In terms of safety equipment, it consists of the use of Class 3 biosafety hood or positive pressure clothing with Class 2 biosafety hood, as well as a two-door autoclave (located between the walls) to remove material and filtered air (1). A schematic view of the four levels of biosafety and their equipment and facilities is shown in Figure 6 (17).



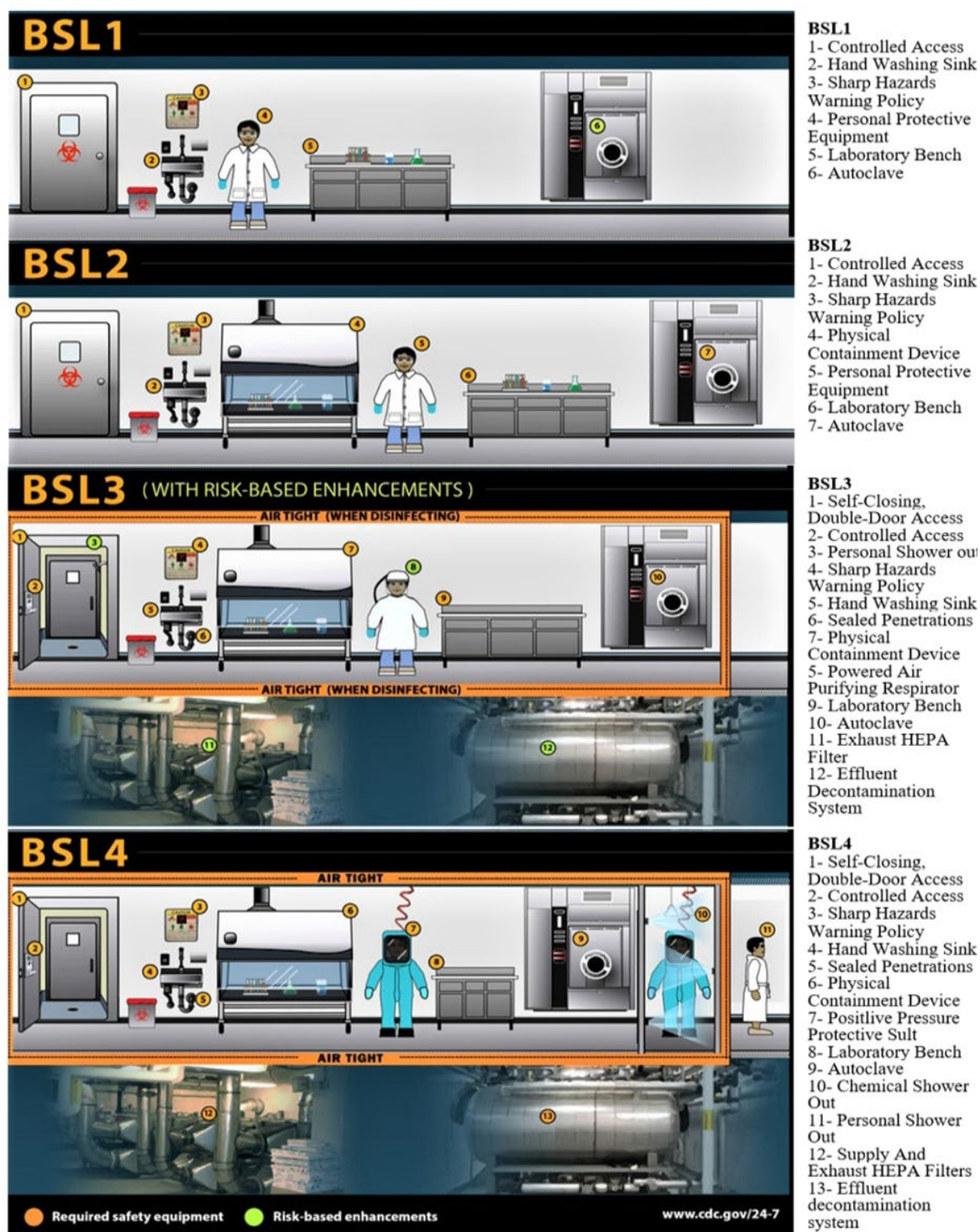


Figure 6. A schematic view of the four levels of biosafety and their equipment and facilities is shown in Figure 6 (17).

### 3-3-2- Proper Ventilation and Temperature Control Systems

Mostly, air conditioning is perceived as cooling and heating, but it is important to know that it is not just about cooling or heating. Using air conditioning technology, the humidity, air flow rate, air pollution and air speed can be controlled. In other words, with the help of air conditioning, even airborne particles

and air pollution can be eliminated. It removes excess moisture from the air and automatically maintains the amount of heat or cold required by the environment to provide comfort and relaxation for the people in the work and living environment. Air conditioning has not only general applications but also usage in sensitive areas such as gas disinfection rooms or special material storage environments (18).

### 3-3-3- Safety Regulations for Working with Recombinant DNA

Recombinant DNA technology involves combining genetic material from different sources to create a genetically modified organism (GMO) that has never existed in nature. There are always concerns about undesirable and unpredictable properties of such organisms, especially if released suddenly in nature (20). The nature of the manipulated organism, the nature of the gene fragment transferred, the characteristics and conditions of storage, and working with the new organism are very important. A genetic order may give a new and unknown characteristic to the host organism. Therefore, observing the safety principles in all stages of genetic manipulation is necessary to minimize the negative effects of these studies (19).

#### 3-3-3-1-Working with Expression Systems to Produce Recombinant Proteins

The expression systems include a host organism and a vector. The desired genes are cloned into the vector and transfected to the host. *Escherichia coli* is one of the most common bacteria used as an expression host. It is a non-pathogenic bacterium for the healthy humans and animals. After performing the genetic engineering manipulations, it is necessary to observe the safety principles (20).

If there is no accurate information about the input DNA fragment, it should be handled with extreme caution, like the condition when the genetic library is made from the genome of a pathogenic organism.

More caution should be exercised if the input gene product is toxic or has pharmacological and therapeutic effects (20).

#### 3-3-3-2-Working with Viral Vectors for Gene Transfer

Viral vectors such as adenoviruses and other similar viruses are widely used to transfer genes to the cells. Such viruses lack some of the genes involved in reproduction and replication, and can replicate in the cells that make up this defect. Such viruses may regain their lost potential through recombination with other viruses or host cells. Therefore, it is necessary to always observe all the principles of safety working with complete viruses (21).

#### 3-3-4-Biosafety Cabinets (Hoods)

The biologic safety cabinet (BSC) is a laboratory workspace that is used safely for the contaminated material or suspected pathogens. Biosafety hoods are designed as a reliable tool to protect the user, laboratory environment and work space against aerosols, contaminated discharges when working with

infectious substances, and working with chemicals and radioactive materials.

Usually in different types of hoods (cabinets) biosafety is provided by the high efficiency filters against particles (High Efficiency Particle Air: HEPA) or filters resistant to fine particles (Ultra Low Particle Air: ULPA) at the system outlet (exhaust) or an air supply is used to trap aerosols. These filters are able to trap 97.99% of particles with a diameter of 0.3  $\mu\text{m}$  and 99.99% of particles with larger diameters. Therefore, they create a safe environment in the laboratory.

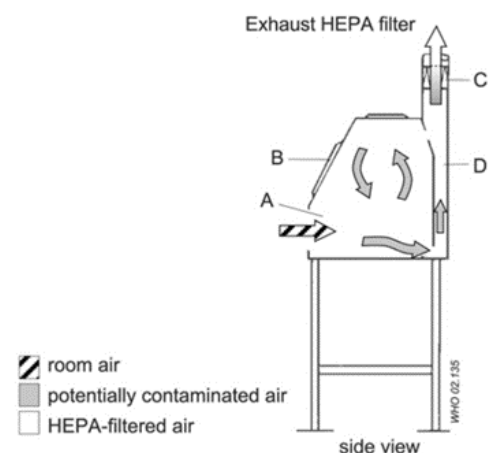
Depending on the structure of these filters, the direction of airflow and the height of the window, different levels of protection of staff, product and work environment can be achieved.

The selection of an appropriate biosafety hood is based on the risk assessment of the types of biological organisms and other materials used.

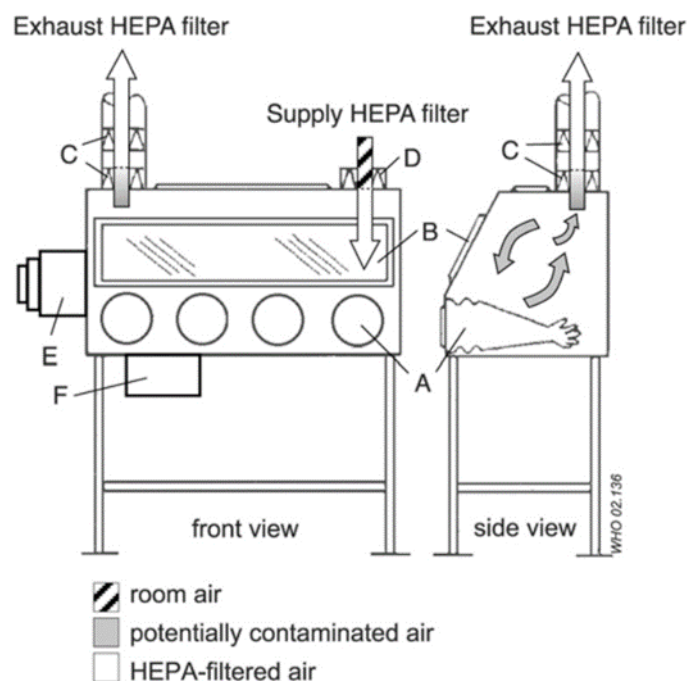
#### 3-3-4-1-Types of Biosafety Cabinets and Their Working Method

Biosafety hoods have been developed in three categories/classes 1, 2 and 3 based on the different needs of diagnostic and research centers.

Class 1 biosafety hoods have a filter located at the outlet that only protects the user from the chemicals and unpleasant odors. Most of these hoods have a HEPA filter, which returns the air to the environment after purifying. In Class 1 biosafety hoods, room air enters the interior part of the hood through the open front area and passes through the working surface and is discharged through the air outlet duct. Usually in these types of hoods, the room air enters the working surface at a speed of at least 38.0 m/s and then enters the air outlet duct. Figure 7 shows a schematic of the operation of a Class 1 biosafety hood (22).



**Figure 7.** Schematic view of Class 1 biosafety cabinet operation (13) A: Front opening, B: Sash, C: Exhaust HEPA filter, D: Exhaust plenum.



**Figure 8.** Schematic view of Class 3 biosafety cabinet operation (13).

Due to the need for cell and tissue culture to propagate viruses and so on, the passage of non-sterile air over the work surface causes contamination. Therefore, Class I biosafety hood is not applicable in these cases. For this purpose, to protect the work surface from the polluted room air, Class 2 biosafety hood was designed, in which sterile filtered air by HEPA filter flows on the work surface. Therefore, these hoods are used for cell and tissue cultures.

The Class 2 biosafety hood is the most common type of hood in a medical laboratory. These types of hoods protect the product in addition to the user. Basically, the rotation of indoor air is away from the user and does not return to him. When using this type of hood and working with hazardous chemicals, the hood with outlet duct (channel) must be used (1). Class 2 hoods can be used to work with the infectious agents in danger groups of two and three.

Class 2 hoods are produced in four different subcategories (types) of A1, A2, B1 and B2 based on the needs of the centers. Their difference is based on the air intake speed, the amount of air returning to the working surface, and the performance of the system determining the amount of exhaust air.

Class 3 biosafety hoods provide the highest level of employee protection and are suitable for working with danger group of four. All their pores are sealed and insulated to prevent any uncontrolled air flow to the hood. Access to the work surface is possible only through thick rubber gloves attached to the hood and insulated. In some types of these hoods, it is possible

to use a two-door autoclave to decontaminate all contaminated materials and debris entering or leaving the hood. Class 3 biosafety hoods are suitable for work in levels 3 and 4 biosafety laboratories.

In Class 3 biosafety hoods, the air outside the hood first passes through the HEPA filter and then enters the hood. This purified air, after circulating inside, passes through the other two HEPA filters again and leaves the hood (1). A schematic of the operation of a Class 3 biosafety hood has been shown in Figure 8 (13).

### 3-4- The Flexibility of Space for Future Development

Advances in technology in medical laboratories and changes in requirements raise the need to anticipate changes in user space and future development in spaces. One of the things that can meet this need is the use of flexible partitioning systems with the ability to move and separate parts, which should be seriously considered in the design of the laboratory.

One of the problems, especially in hospital laboratories, is the surrounding of laboratory spaces with other parts of the hospital (23) that make it difficult to develop spaces. This problem should be considered in the initial design of hospital centers, so that, the desired environment in the development of hospital centers and consequently the laboratory will face fewer challenges.

## 4. Conclusion

The design of medical laboratories, taking into account the issues mentioned in this article, will lead to the construction of a place that will not only meet the needs of clients but also provide comfort and safety for the staff. Such a laboratory will be more profitable by increasing the productivity, which will ultimately lead to a comprehensive profit. Errors in the design and execution of any of these items can cause minor and major damages which are beyond the scope of this discussion. As stated in this article, the design steps include pre-design, physical planning, safety and required equipment efficiency, and the flexibility of the space for future development, which should be considered in the design of the laboratory physical space. In addition, these steps themselves

include more detailed steps and requirements and standards that must be observed in the design of the physical space of the laboratory.

## Acknowledgment

Not Applicable

## Funding

This article is an independent study that was conducted without organizational financial support.

## Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

## References

- Cooper EC. Laboratory design handbook: CRC Press; 2014. [DOI:10.1201/9781498710688]
- Gebreyes M, Sisay A, Tegen D, Asnake A, Wolde M. Evaluation of Laboratory Performance, Associated Factors and Staff Awareness Towards Achieving Turnaround Time in Tertiary Hospitals, Ethiopia. *Ethiopian Journal of Health Sciences*. 2020;30(5). [DOI:10.4314/ejhs.v30i5.17] [PMID] [PMCID]
- Coleman CN, Hrdina C, Bader JL, Norwood A, Hayhurst R, Forsha J, et al. Medical response to a radiologic/nuclear event: integrated plan from the Office of the Assistant Secretary for Preparedness and Response, Department of Health and Human Services. *Annals of Emergency Medicine*. 2009;53(2):213-22. [DOI:10.1016/j.annemergmed.2007.12.021] [PMID]
- Staff WHO, Organization WH. Laboratory Biosafety Manual: World Health Organization; 2004.
- Blackler A, Brophy C, O'Reilly M, Chamorro-Koc M. Seating in aged care: Physical fit, independence and comfort. *SAGE open medicine*. 2018;6: 2050312117744925. [DOI:10.1177/2050312117744925] [PMID] [PMCID]
- Lipscomb JA, El Ghaziri M. Workplace violence prevention: improving front-line health-care worker and patient safety. *New solutions: a journal of environmental and occupational health policy*. 2013;23(2):297-313. [DOI:10.2190/NS.23.2.f] [PMID]
- Stephenson J, Association LDS. Building regulations explained: Routledge; 2003.
- Mortland KK. Laboratory Design: Approved Guideline: CLSI; 2007.
- Organization WH. Laboratory quality management system: handbook: World Health Organization; 2011.
- Murat P, Naci C, Zehra Sule G, Cihan B, Hakan O. A New Formulation For The Fundamental Period Of Reinforced Concrete Planar Shear Walls. 2011.
- Rice C. Radiation Safety Practices of NZ Veterinary Nurses. *The New Zealand Veterinary*. 2013.
- Scope B. Section 2: ADDITIONAL REQUIREMENTS FOR LABORATORIES USING RADIOACTIVE MATERIALS, RADIATION PRODUCING MACHINES, OR LASERS.
- Organization WH. Safe handling of radionuclides. 1973.
- Wooley DP, Byers KB. Biological safety: principles and practices: John Wiley & Sons; 2020.
- Salerno RM, Gaudio J. Laboratory biorisk management: biosafety and biosecurity: CRC Press; 2015. [DOI:10.1201/b18446]
- Nambisan P. Laboratory Biosafety and Good Laboratory Practices. *An Introduction to Ethical, Safety and Intellectual Property Rights Issues in Biotechnology*. 2017:253. [DOI:10.1016/B978-0-12-809231-6.00011-9] [PMCID]

17. Vijayan V, Ng B. Validating waste management equipment in an animal biosafety level 3 facility. *Applied Biosafety*. 2016;21(4):185-92. [DOI:10.1177/1535676016666359]
18. Bhatia C. Brass Made Natural Antibacterial Fridge.
19. Berte LM. Laboratory quality management: a roadmap. *Clinics in laboratory Medicine*. 2007;27(4):771-90. [DOI:10.1016/j.cll.2007.07.008] [PMID]
20. Wiedbrauk DL, Stoerker J. Quality assurance in the molecular virology laboratory. *Molecular methods for virus detection*. San Diego, CA: Academic Press; 1995. [DOI:10.1016/B978-012748920-9/50003-0]
21. Burmeister T, Maurer J, Aivado M, Elmaagacli A, Grünebach F, Held K, et al. Quality assurance in RT-PCR-based BCR/ABL diagnostics-results of an interlaboratory test and a standardization approach. *Leukemia*. 2000;14(10):1850-6. [DOI:10.1038/sj.leu.2401899] [PMID]
22. Organization WH. *Laboratory biosafety manual*: World Health Organization; 2004.
23. Verderber S. *Innovations in hospital architecture*: Routledge; 2010. [DOI:10.4324/9780203855751]



## طراحی فضای فیزیکی آزمایشگاه پزشکی

سروش دارآفرین<sup>۱\*</sup>، سجاده موحدی‌نیا<sup>۲</sup>، حسین دارآفرین<sup>۳</sup>، مرجان رهنمای فرزما<sup>۴</sup>

۱. طراح معمار، آزمایشگاه پاتوبیولوژی گرگان، تهران، ایران
۲. مرکز تحقیقات پاتولوژی و سلول‌های بنیادی، گروه پاتولوژی، دانشکده پزشکی افضلی‌پور، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
۳. آزمایشگاه پاتوبیولوژی گرگان، تهران، ایران
۴. آزمایشگاه رفرانس، آزمایشگاه مرجع سلامت، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

**زمینه و اهداف:** نظام طراحی معماری، فضا و استقرار تأسیسات و تجهیزات در آزمایشگاه پزشکی بر ساختاری چند وجهی استوار است که با در نظر گرفتن آنها می‌توان موجب افزایش بهره‌وری و سود رسانی به همه گروه‌های درگیر در این مقوله خواهد شد. مطالعه حاضر در پی درک و طرح این ساختار بوده است.

**مواد و روش کار:** این مطالعه توصیفی و تحلیلی با استفاده از مطالعه منابع موجود در این زمینه انجام شد. یافته‌ها: بنابر نتایج این پژوهش برای طراحی یک آزمایشگاه پزشکی باید به نکاتی توجه کرد از قبیل: رعایت جداسازی فضای فیزیکی، مجاورت فضاها در آزمایشگاه، اصل انعطاف‌پذیری در طراحی فضای فیزیکی و قابلیت توسعه و گسترش فضای فیزیکی، طراحی فضا و الزامات در تأمین نیازهای حرکتی افراد کم‌توان و ناتوان، طراحی میز کار افراد معلول و سالمند، رعایت حداقل استاندارد فضای کلی، رعایت حداقل استاندارد فضاها و تعداد کارکنان با در نظر گرفتن ایمنی محل کار.

**نتیجه‌گیری:** طراحی آزمایشگاه‌های پزشکی با در نظر گرفتن مواردی که در اینمقاله عنوان شد موجب ساخت مکانی می‌شود که نه تنها پاسخگوی نیاز مراجعان بلکه فراهم‌کننده راحتی و ایمنی کارکنان خواهد بود. چنین آزمایشگاهی با افزایش بهره‌وری سودآوری بیشتری خواهد شد که در نهایت موجب سودی همه‌جانبه می‌شود. اما خطا در طراحی و اجرای هر کدام از این موارد می‌تواند موجب خسارات خرد و کلان شود.

**کلید واژه‌ها:** طراحی معماری، فضای فیزیکی، آزمایشگاه پزشکی، ایمنی، جداسازی فضای فیزیکی  
کپی‌رایت © مجله میکروبیولوژی پزشکی ایران: دسترسی آزاد؛ کپی برداری، توزیع و نشر برای استفاده غیرتجاری با ذکر منبع آزاد است.

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۹

انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

موضوع: آزمایشگاه پزشکی

### نویسنده مسئول:

سروش دارآفرین، طراح معمار، آزمایشگاه پاتوبیولوژی گرگان، تهران، ایران

ایمیل:

[Afarinsardar@outlook.com](mailto:Afarinsardar@outlook.com)

مناسب، سیستم‌های تهویه مناسب و کنترل دما و بالاخره برنامه‌ریزی فیزیکی است (۱).

رعایت حداقل شرایط و استانداردهای لازم برای طراحی و اجرای یک آزمایشگاه پزشکی نه تنها فضایی مناسب برای کارکنان و مراجعین ایجاد خواهد کرد بلکه با بهینه‌سازی امور موجب افزایش بهره‌وری خواهد شد. اما کوتاهی و خطا در این کار هر چند کوچک می‌تواند موجب خسارات غیر قابل جبران شود.

این مطالعه تلاش دارد ابعاد، الزامات و استانداردهای مطرح در حوزه طراحی آزمایشگاه‌های پزشکی را بررسی کند و آسیب‌شناسی طراحی و پروتکل‌های ایمنی و همچنین خطرات نهفته در این مورد در حوصله این مطالعه نیست.

### ۱. طراحی معماری در آزمایشگاه پزشکی

آزمایشگاه‌ها از ابعاد ساختاری گوناگون با فضا، تجهیزات و کارکنان اندک تا آزمایشگاه‌های بزرگ شامل فضاهای متنوع، نیروی انسانی متخصص و تجهیزات متنوع تشکیل شده‌اند. بر همین اساس طراحی آزمایشگاه‌ها باید با توجه به نیاز، امکانات، نیروی انسانی تجهیزات و فضای موجود شکل گیرد (۱).

طراحی آزمایشگاه شامل پیش‌طراحی با توجه به نیاز کاربران، موقعیت‌ها و دسترسی‌ها با توجه به کانتکس، میزان انعطاف‌پذیری فضا برای توسعه آینده، تجهیزات، کارکنان و فعالیت‌های مختلف در موارد غیرقابل پیش‌بینی، ایمنی و افزایش بهره‌وری آن شامل کابینت‌های ایمنی زیستی، سیستم‌های حفاظت و پیشگیری از آتش، دوش اضطراری، خروجی‌ها با طراحی

## ۲. روش تحقیق

روش شناسی این پژوهش بر اساس روش توصیفی و تحلیلی است. در این پژوهش با جمع‌آوری مجموعه مقالات و منابع معتبر در خصوص طراحی فیزیکی آزمایشگاه و استناد به آن‌ها، نحوه طراحی این فضا بیان گردیده است. منابع گردآوری شده تحلیل شده و مورد استناد قرار گرفته است.

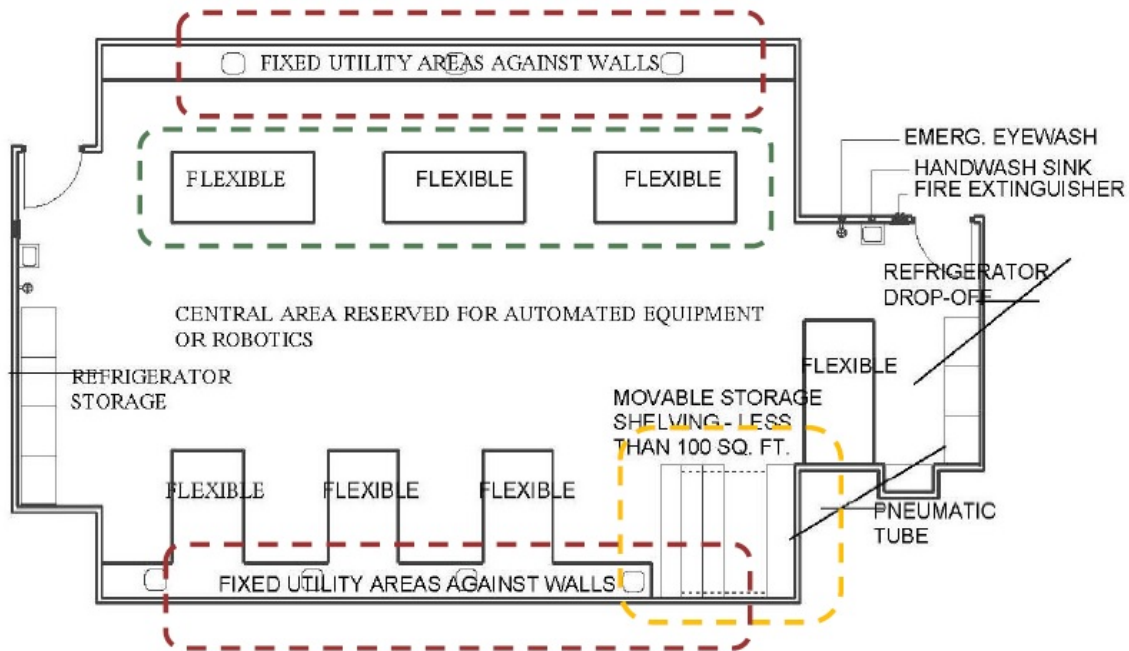
## ۳. اجزا و مراحل طراحی معماری در آزمایشگاه پزشکی

### ۳-۱-۳ پیش‌طراحی

یکی از اصلی‌ترین مراحل طراحی آزمایشگاه‌ها پیش‌طراحی است. در این مرحله طراحی کلی به شکلی صورت می‌پذیرد که با

انعطاف‌پذیری در استفاده از فضاها امکان جابه‌جایی‌های لازم در صورت نیاز وجود داشته باشد. همچنین طراح باید عواملی از قبیل مناسب‌سازی محیط آزمایشگاه‌ها برای افراد و دستگاه‌های متفاوت را نیز در نظر بگیرد.

تطابق اصل انعطاف‌پذیری در پیش‌بینی زیرساخت‌های تأسیسات مکانیکی (نوع و ظرفیت یونیت‌ها و دسترسی به رایزرها و موارد مشابه) و الکتریکی (ظرفیت سیستم و جانمایی پریزها) به‌منظور امکان جابه‌جایی‌های پیش‌بینی شده این مشکل را به خوبی حل می‌نماید (شکل ۱).



شکل ۱. نمای شماتیک از فضای کاری آزمایشگاه برای ایستگاه‌های کاری متحرک و منعطف (۲)

### ۳-۱-۳-۱ طراحی فضا و الزامات

#### ۳-۱-۱-۱ مجاورت فضاها در آزمایشگاه (Proximity Space)

بخش‌های فنی مرتبط در یک آزمایشگاه پزشکی بهتر است به صورت یکپارچه و مجاور یکدیگر باشند یا حتی الامکان در فاصله نزدیک به هم قرار گیرند، در عین حال برخی فضاها در آزمایشگاه بهتر است با فاصله از سایر بخش‌ها و مجزا باشند. برای مجاورت فضاها در آزمایشگاه می‌توان سه حالت زیر را در نظر گرفت:

#### • فضای مجاور و چسبیده به هم (Adjoining)

برای فضاها مجاور و چسبیده به هم می‌توان به بخش‌های فنی از جمله بخش‌های بیوشیمی، هماتولوژی، ایمونولوژی و سرولوژی اشاره نمود.

#### • فضای نزدیک به یکدیگر (Adjacent Space)

برای فضاها نزدیک به یکدیگر می‌توان به نزدیکی فضای پذیرش و نمونه‌گیری و جداسازی نمونه اشاره نمود.

● فضای مجزا (Separated Space)

برای فضاهای مجزا از سایر فضاها می‌توان به فضاهای شست‌وشو و استریلیزاسیون (سترون‌سازی)، فضای انبارش یخچالی و انبارش غیر یخچالی، اتاق‌های سرور و یو پی اس مرکزی، غذاخوری و اتاق استراحت، رختکن کارکنان و بخش‌های فنی از جمله میکروشناسی، ادار، فارچ‌شناسی، انگل‌شناسی، ویروس‌شناسی، آزمایشگاه مولکولی و سایر موارد اشاره نمود (۳).

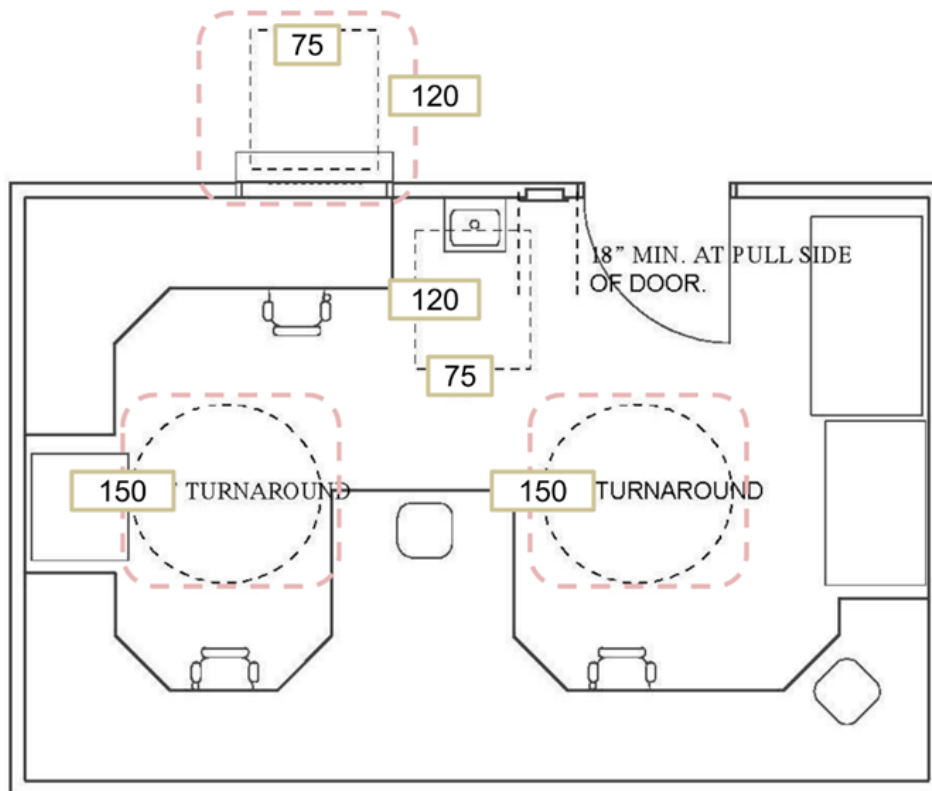
۱-۱-۲- الزامات در تأمین نیازهای حرکتی افراد

کم‌توان و ناتوان

توجه به نیازهای حرکتی افراد کم‌توان و ناتوان (معلول) در مقیاس شهر و ساختمان از حداقل استانداردهای کشورهای پیشرفته محسوب می‌شود که در کشور ما توجه چندانی در مبلمان شهری به این مسئله مهم نشده است. این موضوع باید برای بیماران، مراجعه‌کنندگان و کارکنان آزمایشگاه مورد توجه قرار گیرد (۳).

از نکات و الزامات مربوط به نیازهای حرکتی افراد کم‌توان و ناتوان برای مثال می‌توان به امکان تردد در تمامی فضاهای اصلی آزمایشگاه، دسترسی آسان معلولین شامل ابعاد فضاها، عرض خالص درها و راهروهای ارتباطی و کابین آسانسورها (به همراه تعبیه دستگیره کمکی در این مکان‌ها)، تعبیه میزهای آزمایشگاهی با قابلیت تنظیم ارتفاع و تنظیم فضای مناسب کار برای افراد روی صندلی چرخ‌دار، استفاده از هودهای آزمایشگاهی با قابلیت استفاده در حالت نشسته، متناسب‌سازی سرویس‌های بهداشتی برای استفاده معلولین و طراحی سیستم فراخوان یا پیجر صوتی مناسب برای افراد دارای مشکلات شنوایی اشاره کرد.

بدیهی است که تعداد این امکانات در سطح آزمایشگاه، به نسبت تعداد کارکنان و پذیرش روزانه آن باید تعیین شود. این موارد باید به گونه‌ای طراحی شود که امکان ورود و خروج آسان افراد دارای معلولیت در مواقع اضطراری فراهم گردد (۴). شکل ۲ نمونه‌ای از طراحی فضا برای استفاده افراد روی صندلی چرخ‌دار را به تصویر کشیده است (۵).



شکل ۲. حداقل ابعاد طراحی میز کار افراد معلول و سالمند (۵)



## ۳-۱-۲- کیفیت فضای آزمایشگاه پزشکی (Quality

(of Laboratory Space

مهم‌ترین عامل تأمین‌کننده کیفیت در یک فضا وابسته به این موضوع است که آن فضا با نوع کاربری متناسب است یا خیر. این تناسب صرفاً شامل کمیت و بزرگی فضا نیست و مجموعه عواملی نظیر نور، تهویه، برق، آب و فاضلاب، نحوه چیدمان تجهیزات، نوع سکوبندی و رعایت سطوح ایمنی در شکل‌گیری کیفیت کلی یک فضا نقش دارند. وجود ستون‌ها و دیوارها و پارتیشن‌های غیرضروری می‌تواند در کاهش کیفیت یک فضا مؤثر باشد (۶).

## ۳-۲- برنامه‌ریزی فیزیکی

### ۳-۲-۱- برنامه‌ریزی فیزیکی فضاهای آزمایشگاهی

در فرآیند طراحی، پس از پیش‌طراحی به برنامه‌ریزی فیزیکی فضا پرداخته می‌شود. در برنامه‌ریزی فیزیکی فضاهای آزمایشگاهی با فهرست کردن فضاهای مورد نیاز، شرح کاربری و نظام ارتباطی آنها با یکدیگر مساحت مورد نیاز بررسی می‌شود (۳).

### ۳-۲-۲- کمیت و جداسازی فضای آزمایشگاه پزشکی

اغلب حداقل فضای فیزیکی که در بدو افتتاح آزمایشگاه کافی به نظر می‌رسد با توسعه و روند روبه‌رشد آزمایشگاه و تعریف آزمایش‌ها و تجهیزات جدید و بخش‌های فنی و کارکنان جدید، به‌طور پیش‌رونده‌ای ناکافی و ناکارآمد می‌شود، به‌طوری‌که حتی در بعضی مواقع برای تأمین اندک فضای مورد نیاز، به ناچار از راه‌روهای باریک آزمایشگاه برای کاربری فنی استفاده می‌شود. بنابراین اگر در انتخاب فضای اولیه آزمایشگاه، به دلیل محدودیت‌های مالی و اقتصادی یا عدم پیش‌بینی و اطلاع از گسترش و توسعه فعالیت‌های آزمایشگاه در آینده، حداقل فضای مجاز در نظر گرفته شود، این فضا باید در مکانی تأمین گردد که امکان الحاق فضاهای جانبی و یا طبقات فوقانی در مجاورت آن

مهیا باشد و با بررسی دقیق و کسب اطلاعات همه‌جانبه، مساحت نسبی لازم برای گسترش فضا در آینده در نظر گرفته شود (۲).

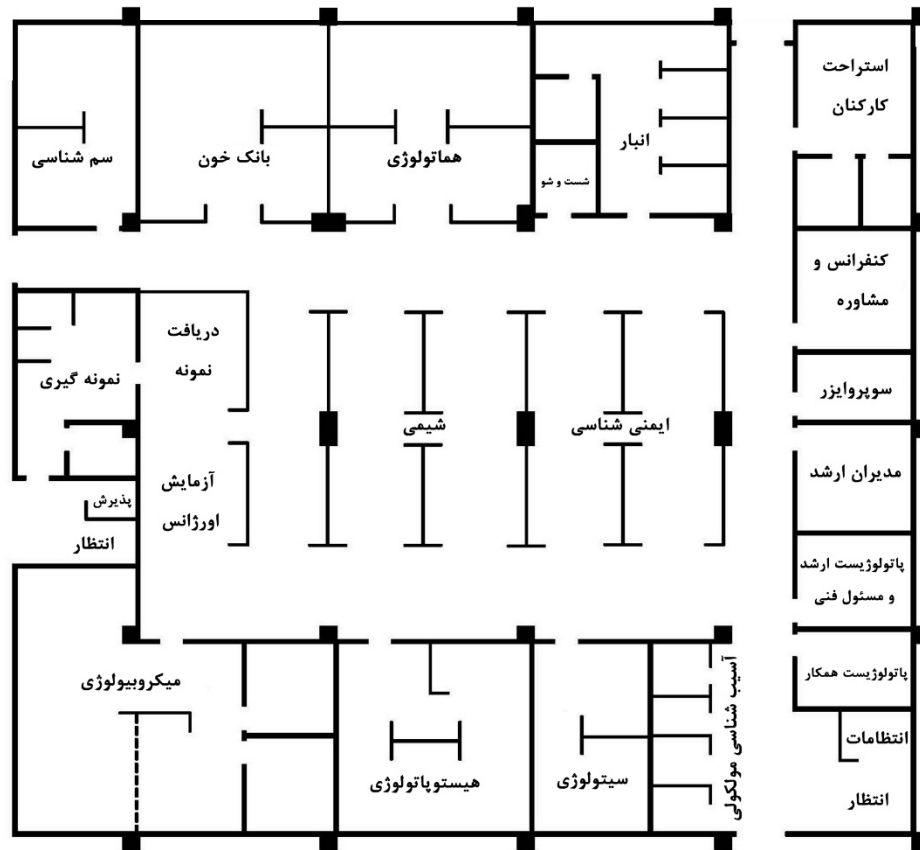
در حال حاضر بر اساس آیین‌نامه تأسیس و اداره امور آزمایشگاه‌های پزشکی، حداقل فضای مورد نیاز متناسب با نوع فعالیت آزمایشگاه برای آزمایشگاه‌های آسیب‌شناسی بالینی و تشریحی ۱۲۰ مترمربع، آزمایشگاه‌های بالینی ۱۰۰ مترمربع و آزمایشگاه‌های تک تخصصی ۶۰ مترمربع در نظر گرفته شده است (۴).

در آزمایشگاه باید فضای مناسب برای انجام کارها در نظر گرفته شود به نحوی که از کیفیت، ایمنی و کارایی خدمات، اطمینان حاصل شده و سلامت و ایمنی کارکنان، بیماران و مراجعین تضمین گردد. آزمایشگاه باید مناسب و کافی بودن فضای اختصاص داده شده برای انجام فعالیت‌ها را ارزیابی و تعیین نماید (۴).

فضای کاری ناکافی یا طراحی نامناسب فضای فیزیکی می‌تواند به‌طور بالقوه منشأ بسیاری از حوادث و مخاطرات آزمایشگاهی باشد و ایمنی کارکنان را به مخاطره بیندازد که نمونه آن برخورد فیزیکی کارکنان با یکدیگر در حین کار (همراه با خطر آلودگی به مواد عفونی و شیمیایی و خطرناک) یا برخورد کارکنان با تجهیزات است که می‌تواند به آسیب فیزیکی کارکنان یا تجهیزات منجر گردد. بنابراین طراحی یک آزمایشگاه باید شامل طراحی بخش‌های مورد نیاز، مساحت آنها و نحوه قرارگیری آنها در کنار هم باشد.

### ۳-۲-۳- بخش‌های اصلی آزمایشگاه پزشکی

هر آزمایشگاه پزشکی به بخش‌های مختلفی نیاز دارد. از جمله این بخش‌ها می‌توان به سالن انتظار مراجعان، پذیرش و صندوق، بخش نمونه‌گیری، بانک خون، اتاق سوپروایزر، و غیره اشاره کرد. شکل ۳ تصویری ایدئال از بخش‌های یک آزمایشگاه پزشکی را به تصویر کشیده است.



شکل ۳. نمای شماتیک از فضاهای مختلف آزمایشگاه بر اساس شاخص HMI (۲)

#### ۳-۲-۴- جداسازی فضای فیزیکی

جداسازی و سازماندهی فضای فیزیکی بحث برانگیزترین و مهم‌ترین موضوع در طراحی آزمایشگاه است که باید با در نظر گرفتن ابعاد کلی آزمایشگاه و تعداد کارکنان، حجم عملیات فنی و نوع آزمایش‌های قابل انجام و اندازه تجهیزات در هر بخش فنی تعریف شود (۷).

برخی از فضاها الزاماً بایستی ایزوله و مجزا از سایر فضاهای آزمایشگاه تعریف گردد، از جمله فضای بخش‌های میکروشناسی، قارچ‌شناسی، شست‌وشو و استریلیزاسیون. در ضمن فضاهای اداری و دفتری و نمونه‌برداری بهتر است از سایر فضاها مجزا باشد. راهروهای بین فضاهای کاری بایستی به‌شکلی طراحی گردد که ایمنی کارکنان در فضای کاری حفظ شود و راهروها نیز در صورت امکان پهن و عریض باشند (۸).

حداقل عرض استاندارد راهرو و میزهای آزمایشگاهی بر اساس راهنمای طراحی آزمایشگاه (GP18A2) یک و نیم متر است که در شکل ۴ نشان داده شده است (۸).

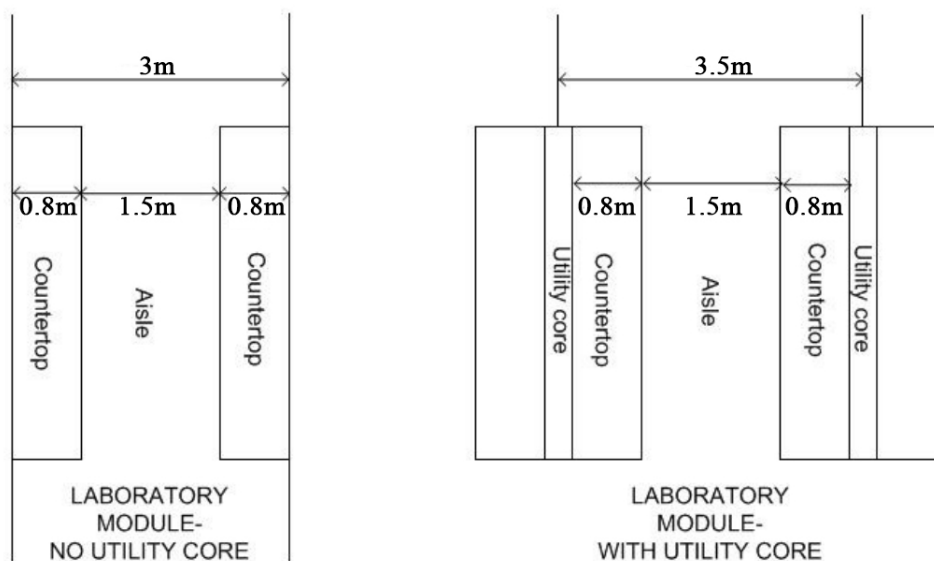
#### ۳-۲-۵- کنترل و نظارت بر فضای فیزیکی آزمایشگاه

علاوه بر کمیت و کیفیت فضا، طراحی سیستم‌های کنترل‌کننده فضای فیزیکی بسیار الزامی است، که از جمله آن می‌توان طراحی سیستم‌های صوتی و تصویری و مدار بسته برای کنترل تعداد کارکنان فعال، ترافیک و ازدحام مراجعان به آزمایشگاه و زمان گردش کار، گردش کار نمونه‌ها در فضای کاری خصوصاً نمونه‌های اورژانسی، ورود و خروج کارکنان و کنترل اینترنتی فضا از راه دور را نام برد.

#### ۳-۲-۶- اضافه یا حذف نمودن فضای فیزیکی در

##### آزمایشگاه

در شرایط ایده‌آل همان‌طور که نیاز به فضا در آزمایشگاه افزایش یا کاهش می‌یابد، بایستی بتوان که سطح فیزیکی آزمایشگاه را توسعه داد یا محدود نمود و در راستای توسعه فضا باید پیش‌بینی این موضوع که فضاهای جانبی بالقوه آزمایشگاه قابل دسترسی و قابل استفاده (قابلیت خرید یا اجاره) باشند، در نظر گرفته شود.



شکل ۴. حداقل عرض میزهای آزمایشگاهی بر اساس راهنمای طراحی آزمایشگاه (۶)

بخش‌های بالینی بیمارستان به واحد جداسازی نمونه‌ها و از واحد جداسازی به بخش‌های فنی جابجا می‌گردد؛ همچنین در آزمایشگاه‌های مستقل مرکزی انتقال نمونه از واحد نمونه‌برداری به جداسازی و بخش‌های فنی انجام خواهد شد. به‌طور کلی از مزایای این روش می‌توان به دسترسی سریع و آسان، کاهش رفت‌وآمد و تردد بین بخش‌های مختلف، کاهش هزینه و انتقال ایمن نمونه اشاره کرد.

### ۳-۲-۹- موقعیت و مکان استقرار تجهیزات در فضای

#### فیزیکی

در فهرست تجهیزات تعریف شده در هر فضای فیزیکی به جز تعریف دقیق موقعیت و مکان استقرار تک‌تک تجهیزات موارد زیر باید به‌طور دقیق تعریف و ثبت گردد (۹):

•• ابعاد تجهیز یا دستگاه (طول و عرض و ارتفاع دقیق دستگاه) همراه با حداقل فضای جانبی مورد نیاز هر تجهیز (فاصله تجهیز از دیوار و طرفین)

•• تعریف ابعاد تجهیزات جانبی لازم برای هر دستگاه نظیر مانیتور و پرینتر و یو پی اس ( ترجیحاً این تجهیزات جانبی در فضای روی دیوار یا پشت کابینت جاسازی گردد تا میزان فضای بیشتری در حوزه کاری فراهم گردد)

•• تعریف منابع تغذیه (ولتاژ و جریان مورد نیاز دستگاه) و سیستم آب و فاضلاب دستگاه

### ۳-۲-۷- حرکت و جابجایی در فضای فیزیکی

#### آزمایشگاه پزشکی

ارزیابی مسیر حرکت و جابجایی کارکنان و بیماران و نمونه‌های بالینی در محدوده فضای فیزیکی بهتر است در یک نقشه و نمودار ترسیم گردد و محدودیت‌های تردد برای هر گروه مشخص و معین گردد؛ از جمله محدودیت حرکت و تردد بیمار به فضاهای فنی و محدودیت حرکت و تردد کارکنان در فضاهای خاص مشخص شود (به‌عنوان مثال تردد کارکنان فاقد صلاحیت در بخش مایکوباکتریولوژی یا میکروبی‌شناسی تخصصی یا بخش مولکولی به جز آلودگی نمونه بیماران و بروز جواب‌های مثبت کاذب و آلودگی خود کارکنان ارمانی نخواهد داشت). برای رسم این دیاگرام پیشنهاد می‌شود ابتدا با بزرگنمایی فضاهای آزمایشگاهی (در نقشه)، تجزیه و تحلیل لازم برای طراحی فضاها شامل جانمایی، درب ورودی ایستگاه‌های کاری، محل قرارگیری تجهیزات و سایر موارد صورت پذیرد و پس از شبیه‌سازی این نقشه، نقشه واقعی رسم گردد (۱).

### ۳-۲-۸- طراحی سامانه انتقال نمونه با استفاده از

#### هوای فشرده (سیستم پنوماتیک)

طراحی سامانه انتقال نمونه با استفاده از هوای فشرده در کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است. با طراحی این سیستم در بیمارستان‌ها، نمونه‌های آزمایشگاه به راحتی از

بسیاری از مواد رایج در آزمایشگاه حلال‌های شیمیایی مانند فرمالدئید، فنل و اتانول هستند که مواد خوردنده محسوب می‌شوند؛ کابینت و نیمکت‌های آزمایشگاه باید در برابر انفجالات شیمیایی این مواد مقاوم باشند. رویه‌های نیمکت چوبی برای این منظور مناسب نیستند زیرا یک سطح چوبی می‌تواند مایعات را جذب کند. همچنین، چوب در صورت آتش‌سوزی به سرعت می‌سوزد. فایبرگلاس نیز نامناسب است زیرا با استفاده از مواد ضد عفونی‌کننده قوی ممکن است تخریب شود. همچنین فایبرگلاس در هنگام سوختن دود سمی آزاد می‌کند (۱۲).

یکی از عواملی که مناسب برای آزمایشگاه استفاده از نور طبیعی یا مصنوعی کافی برای اطمینان از دید کافی برای ایمنی عملیاتی است (۱۳).

### ۱۱-۲-۳- فضای فیزیکی مورد نیاز کارکنان آزمایشگاه

#### پزشکی

کارکنان از عناصر اصلی و مهم هر آزمایشگاه پزشکی هستند بنابراین طراحی مناسب فضای کار و نحوه جابجایی آن‌ها در محیط و سطح ایمنی مورد نیاز آنان در این فضا به‌طور ویژه‌ای در میزان رضایت‌مندی کارکنان و کیفیت نهائی و عملکرد کلی آزمایشگاه مؤثر خواهد بود.

محاسبه مجموع فضای کاری (فنی) مورد نیاز آزمایشگاه پزشکی (TNS (Total Net Space) از روابط زیر به دست می‌آید:

$$TNS = BWS + FMI$$

$$BWS = [(AE + CWS) \times (CD + AW)]$$

علامت اختصاری فضاهای فیزیکی مختلف آزمایشگاه پزشکی مورد استفاده در این فرمول در جدول ۱ بیان شده است.

### ۳-۳-۳- افزایش بهره‌وری و تجهیزات لازم

#### ۱-۳-۳- آزمایشگاه‌های ایمنی زیستی و طراحی

##### الزامات آن‌ها

طبقه‌بندی براساس سطوح ایمنی زیستی برای فراهم آوردن اطلاعاتی در خصوص روش‌های محافظت از کارکنان و محیط آزمایشگاه در برابر آلودگی‌های آزمایشگاهی و به‌منظور دست یافتن به استانداردها و دستورالعمل‌های قابل قبول در همین راستا صورت می‌گیرد. این اطلاعات همچنین در جهت محافظت از سلامت فرآیندهای آزمایشگاهی به واسطه کنترل انتشار انواع آلودگی‌ها نیز

•• تعریف نحوه دسترسی به فضای پشت و جانبی دستگاه در زمان سرویس تجهیزات بزرگ و حجیم (به‌عنوان مثال بهتر است تجهیزات بزرگ و حجیم روی میز چرخ‌دار و مجزا در فضا تعریف شوند تا در زمان سرویس دستگاه، فرد سرویس‌کننده به راحتی به فضای جانبی و پشت دستگاه دسترسی داشته باشد و حداقل جابجایی با کمترین انرژی صورت پذیرد).

•• ممنوعیت مجاورت یک تجهیز با برخی تجهیزات (به‌عنوان مثال ممنوعیت مجاورت سانتریفوژ و میکروهماتوکریت با سل کانتر و...)

•• عدم مجاورت تجهیزات حساس به گرما با سیستم‌های گرمایش آزمایشگاه (خصوصاً میز کار الیزا).

•• حفظ حداقل فاصله ۲۰ سانتیمتری یخچال با دیوار برای تبادل حرارت

•• مکان‌یابی مناسب برای تجهیزاتی که تولید گرمای بالا دارند (مکان با قابلیت گردش هوا برای جلوگیری از احتباس گرما و ایجاد آسیب به تجهیزات) و مجاورت این تجهیزات با سیستم‌های خنک‌کننده استاندارد (۱۰).

### ۱۰-۲-۳- طراحی مبلمان آزمایشگاهی

مبلمان آزمایشگاهی باید دارای سطوح صاف و غیر متخلخل باشند تا در برابر جذب مایعات و اثرات شدید ضد عفونی‌کننده‌ها مقاومت کنند. موقعیت مبلمان نباید به گونه‌ای باشد که تمیز کردن مایعات ریخته شده یا انجام امور معمول را دشوار کند. به‌عنوان مثال، قرار دادن کابینت ایمنی زیستی کلاس II در یک فضای مقعر محدود ممکن است به گواهینامه کابینت ایمنی زیستی اجازه ندهد پانل‌های کابینت را هنگام بازرسی مجدد تأیید کند. این منابع به‌طور خاص برای آزمایشگاه‌های حاوی مواد بیولوژیکی و رادیواکتیو اعمال می‌شود (۱۱).

مبلمان آزمایشگاهی باید دارای سطوح صاف و غیر متخلخل باشند تا در برابر جذب مایعات و اثرات شدید ضد عفونی‌کننده‌ها مقاومت کنند. موقعیت مبلمان نباید به گونه‌ای باشد که تمیز کردن مایعات ریخته شده یا انجام امور معمول را دشوار کند. به‌عنوان مثال، قرار دادن کابینت ایمنی زیستی کلاس II در یک فضای مقعر محدود ممکن است به گواهینامه کابینت ایمنی زیستی اجازه ندهد پانل‌های کابینت را هنگام تأیید مجدد واحد حذف کند. این منابع به‌طور خاص برای آزمایشگاه‌های حاوی مواد بیولوژیکی و رادیواکتیو اعمال می‌شود (۱۱).

آزمایشگاهی و کنترل انتشار آلودگی‌ها، در آزمایشگاه‌هایی که از مواد آلوده و خطرناک استفاده می‌شود، الزامی است. بدیهی است تعیین نوع آزمایشگاه از نظر سطوح ایمنی زیستی می‌تواند در نحوه برنامه‌ریزی و طراحی آزمایشگاه تاثیرگذار باشد.

کاربرد دارد. در واقع هدف اصلی از مباحث ایمنی زیستی در آزمایشگاه‌ها این است که اهمیت انجام هیچ آزمایشی بیشتر از اهمیت تامین ایمنی انجام آن نیست. بنابراین باید برنامه‌ریزی و انجام کنترل آلودگی‌های زیستی برای محافظت در برابر عفونت‌های

جدول ۱. علامت اختصاری فضاهای فیزیکی مختلف آزمایشگاه پزشکی (۸)

TNS: Total Net Space	مجموع فضای فنی (کاری) مورد نیاز آزمایشگاه
BWS: Bench Work Space	فضای کاری سکوها و میزهای آزمایشگاه
FMI : Floor Mounted Items	اقلامی که به کف آزمایشگاه متصل و ثابت شوند (یا فیکس یا چسبانده شده‌اند)
AE : Analysis Equipments	فضای تجهیزات آزمایشگاه
CWS : Clear Working Space	فضای پاک (بدون لوازم) آزمایشگاه
CD : Counter Depth	عمق (ارتفاع) کانترها
AW : Aisle Width	فضاهای جانبی (راهروها)

### ۳-۱-۳-۱- آزمایشگاه سطح ۱ ایمنی زیستی و الزامات آن

آزمایشگاه سطح ۱ مناسب برای کار با میکروارگانیسم‌هایی است که در آن سطح خطر پایین است و کارکنان آزمایشگاه مطابق با استانداردهای آزمایشگاهی به‌طور مناسب محافظت می‌شوند. ارگانیسم‌هایی که در این نوع از آزمایشگاه‌ها بررسی می‌شوند، باعث بروز بیماری در افراد سالم نمی‌شوند و فرآیندهای آزمایشگاهی ممکن است در فضای باز (خارج از هود) انجام شوند. تهیه‌ی این آزمایشگاه را می‌توان به صورت طبیعی تامین نمود.

سطح ۱ ایمنی زیستی معرف آزمایشگاه‌هایی است که از یک سطح ابتدایی ایمنی برخوردار بوده و مبتنی بر استفاده از شیوه‌های استاندارد در میکروب‌زدایی است. این آزمایشگاه‌ها معمولاً در پایین‌ترین سطح ایمنی زیستی قرار داشته و اقدامات احتیاطی شامل شست‌وشوی منظم دستها و استفاده از وسایل حفاظتی مانند دستکش، سینک مجزای شست‌وشو، مواد ضدعفونی کننده مناسب برای ضدعفونی سطوح و دست‌ها لازم است. همچنین محیط‌های حاوی کشت میکروبی و پسماندها باید اتوکلاو شوند (۱۵).

### ۳-۱-۳-۲- آزمایشگاه سطح ۲ ایمنی زیستی و الزامات آن

آزمایشگاه سطح ۲ مناسب برای کار با مواد حاوی میکروارگانیسم‌هایی است که در ارتباط با بیماری‌های انسان بوده و توانایی آلوده کردن از طریق بلعیدن و قرار گرفتن در معرض غشای مخروطی داشته و در محیط اطراف وجود دارند. با استفاده از روش‌های میکروبیولوژیکی مناسب، آزمایش‌ها را می‌توان در

به عبارتی ایمنی زیستی دامنه گسترده‌ای است. عوامل محافظت ایمنی زیستی شامل وسایل حفاظت شخصی، کابیت‌های چهارگانه ایمنی زیستی و عوامل گندزدا، روش‌های تشخیصی شامل شناسایی، ارزیابی و کنترل انواع گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها و خطرات موجود در محیط، پاتوژن عوامل ویروسی، عوامل قارچی، عوامل مشترک بین انسان و حیوانات، تک‌یاخته‌ها و ناقل‌های انتقال ژن و مدیریت بیوریسک از جمله مقررات، دستورالعمل‌ها منطبق با ارزیابی ریسک پوشش پاتوژن‌های بیماری‌زا، آلرژن‌ها، سموم، هوازی، پزشکی کار، ایمنی بیولوژیکی را در برمی‌گیرد (۱۴).

بر اساس تعریف سازمان بهداشت جهانی، ایمنی زیستی آزمایشگاه به کاربرد اصول محدودیتی، فناوری‌ها و شیوه‌هایی که برای جلوگیری از انتشار غیر عمدی پاتوژن‌ها و سموم و یا رها شدن آنها در محیط اطلاق می‌شود و امنیت زیستی آزمایشگاه، به مجموعه اقدامات و روش‌های امنیتی به‌کاربرده شده به‌وسیله کارکنان و سازمان برای جلوگیری از گمشدن، دستبرد، سوءاستفاده، انحراف یا انتشار عمدی پاتوژن‌ها و مواد سمی اطلاق می‌شود. در مبحث امنیت زیستی آزمایشگاه، علاوه بر حفاظت فیزیکی اقداماتی از قبیل مدیریت کارکنان، کنترل و حسابرسی مواد، حفاظت اطلاعات، امنیت حمل و نقل نیز بایستی در نظر گرفته شود. با توجه به مفاهیم فوق، معماران و طراحان مراکز بهداشتی و درمانی باید در طراحی آزمایشگاه و یا بیمارستان به این نکات توجه نمایند (۱۵).

گروه می‌توان به SARS-CoV-2، SARS-CoV-1 و MERS-CoV و ارگانسیم‌های مشابه نام برد (۱۵).

با توجه به خطرات بالقوه‌ای که این عوامل بیماری‌زا دارند، معیارهایی برای چیدمان آزمایشگاه وجود دارد که آن‌ها را اداره می‌کند و دارای امکاناتی هستند که در جهت کاهش خطر میکروارگانسیم‌ها برای انسان و محیط موثر هستند. در این سطح، فرآیندهای آزمایشگاهی در فضای محبوس و کنترل شده انجام می‌شود (۴).

از نظر نوع آزمایشگاه، آزمایشگاه‌های تشخیصی تخصصی و تحقیقاتی را در بر می‌گیرند.

سطح ۳ ایمنی زیستی معرف آزمایشگاه‌هایی است که استفاده از کابینت‌ها و یا هودهای ایمنی زیستی طبق استانداردهای جهانی و از حفاظ‌های ثانویه همچون سیستم فشار هوای منفی الزامی است. این سطح از آزمایشگاه از نظر عملیات و عملکرد آزمایشگاهی، تمامی ملزومات سطح ۲ به اضافه لباس و پوشش‌های مخصوص و همچنین دسترسی کنترل شده (محدودیت در ورود و خروج) و نیز جریان هوای جهت‌دار را شامل می‌شود. از نظر تجهیزات ایمنی، اغلب فرآیندها در هودهای ایمنی زیستی انجام می‌شود.

نمای شماتیک از یک آزمایشگاه سطح ۳ ایمنی زیستی شامل فضای کاری، سیرکولاسیون هوا، آب و مواد، تجهیزات محافظتی و ورود و خروج افراد در شکل ۵ نشان داده شده است (۱۶).

فضای باز انجام داد. البته در صورتی که خطر تولید ذرات معلق در هوا وجود داشته باشد، باید از هود ایمنی زیستی استفاده نمود.

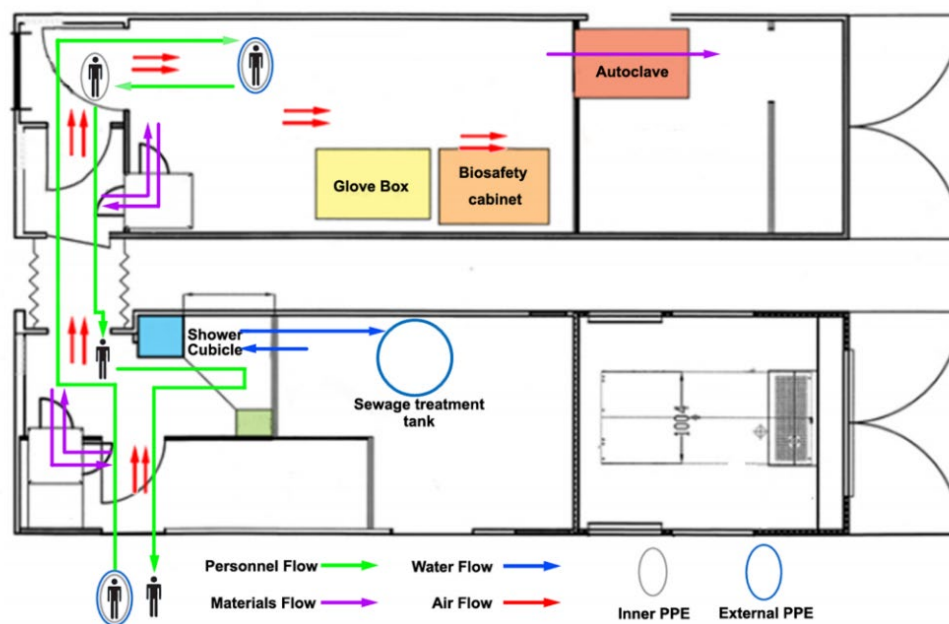
از نظر نوع آزمایشگاه، آزمایشگاه‌های ارائه دهنده خدمات بهداشتی، آزمایشگاه‌های تشخیصی و تحقیقاتی و آموزشی را در بر می‌گیرند. در این نوع از آزمایشگاه‌ها با طیف وسیعی از میکروارگانسیم‌ها با ایجاد خطر متوسط کار می‌شود که در سطح جامعه وجود دارند و دارای بیماری‌زایی متفاوتی و کم خطر هستند.

در آزمایشگاه‌های سطح ۲ در صورتی که حین انجام فرآیندهای آزمایشگاهی با تجهیزات مربوطه، آئروسول (ذرات معلق در هوا) کمی ایجاد شود و به عبارتی احتمال خطرات فرآیندهای آزمایشگاهی پایین باشد، این فرآیندها می‌توانند روی میزهای باز بدون محافظ انجام شوند، اما چنانچه این فرآیندها با تولید میزان زیادی از آئروسول همراه باشند و خطر تماس با این عوامل افزایش یابد، باید از هودهای ایمنی زیستی استفاده شود.

### ۳-۱-۳-۳- آزمایشگاه‌های سطح ۳ ایمنی زیستی و

#### الزامات آن

آزمایشگاه سطح ۳ مناسب برای کار روی میکروارگانسیم‌های بیماری‌زای بومی یا غیربومی است که دارای پتانسیل انتقال از طریق هوا هستند و استنشاق آن‌ها خطرناک بوده و یا موجب بیماری مرگ بار می‌شود. از میکروارگانسیم‌های بیماری‌زای این



شکل ۵. نمای شماتیک از جانمایی هود و گردش هوا، آب و مواد و ورود و خروج کارکنان در آزمایشگاه سطح ۳ ایمنی زیستی (۱۶)

### ۳-۳-۲- سیستم‌های تهویه مناسب و کنترل دما

در بسیاری از مواقع تهویه مطبوع، سرمایش و گرمایش به ذهن متبادر می‌شود اما باید دانست که تهویه مطبوع فقط خنک کردن یا گرم کردن نیست. با استفاده از فناوری تهویه مطبوع می‌توان کنترل رطوبت هوا، میزان دبی هوا، آلودگی هوا و سرعت هوا را در اختیار گرفت. به عبارتی به کمک تهویه مطبوع می‌توان حتی ذرات معلق در هوا و آلودگی‌های موجود در هوا را از بین برد. رطوبت زائد را از هوا گرفت و میزان گرما یا سرما مورد نیاز محیط را به صورت اتوماتیک حفظ کرد تا امکان آسایش و آرامش برای انسان در محیط کار و زندگی فراهم آید. تهویه مطبوع نه تنها کاربردهای عمومی دارد بلکه از آن در مکان‌های حساس مثل اتاق‌های ضد عفونی با گاز و یا محیط‌های ذخیره‌سازی مواد خاص نیز استفاده می‌شود (۱۸).

### ۳-۳-۳- مقررات ایمنی کار با DNA نو ترکیب

تکنولوژی DNA نو ترکیب شامل تلفیق ماده ژنتیکی از منابع مختلف و ایجاد یک ارگانیسم تغییر یافته ژنتیکی GMO است که تاکنون در طبیعت وجود نداشته است. همواره نگرانی‌هایی در مورد خصوصیات نامطلوب و غیر قابل پیش‌بینی چنین ارگانیسم‌هایی به خصوص در صورت آزاد شدن ناگهانی آنها در طبیعت وجود دارد (۲۰). ماهیت ارگانیسم دستکاری‌شده، ماهیت قطعه ژنی منتقل شده، خصوصیات و شرایط نگهداری و کار با ارگانیسم جدید بسیار مهم است. دستوری ژنتیکی ممکن است خصوصیات جدید و ناشناخته‌ای را به ارگانیسم میزبان بدهد. بنابراین رعایت اصول ایمنی در تمام مراحل دستورزی ژنتیکی ضروری است تا اثرات منفی این مطالعات به حداقل برسد (۱۹).

### ۳-۳-۳- کار با سیستم‌های بیانی برای تولید پروتئین نو ترکیب

سیستم‌های بیانی شامل یک ارگانیسم میزبان و یک وکتور یا ناقل است. ژن‌های مورد نظر در ناقل کلون شده و وارد میزبان می‌شود *Escherichia coli* کی از معمول‌ترین باکتری‌هایی است که به‌عنوان میزبان بیانی استفاده می‌شود. این باکتری غیر پاتوژن بوده و نمی‌تواند برای انسان‌ها و حیوانات سالم بیماری‌زا باشد. بعد از انجام دست‌کاری‌های مهندسی ژنتیک، لازمست اصول ایمنی رعایت شود (۲۰).

### ۳-۳-۱- آزمایشگاه سطح ۴ ایمنی زیستی و الزامات آن

آزمایشگاه سطح ۴ مناسب برای انجام آزمایش‌های خطرناک با میکروارگانیسم‌هایی است که جان افراد را تهدید می‌کنند و به سرعت در جامعه پخش می‌شوند. انتشار این عوامل بیماری‌زا از طریق ذرات معلق در هوا، به صورت بسیار خطرناکی، عامل تهدید کننده حیات محسوب می‌شوند. به‌طور کلی آزمایشگاه‌هایی که در آنها کشت ویروس صورت می‌گیرد، سطح ۴ بوده و این سطح از آزمایشگاه ملزومات ویژه‌ای را می‌طلبد که بایستی در یک ساختمان مجزا در نظر گرفته شود.

از نظر نوع آزمایشگاه، شامل واحدهای تشخیصی است که به‌منظور تشخیص عوامل بیماری‌زای خطرناک (کشت میکروارگانیسم) پیش‌بینی می‌شوند. در این آزمایشگاه‌ها با میکروارگانیسم‌هایی کار می‌شود که از طریق تنفس منتقل شده و در حال حاضر واکسن و یا روش درمانی مناسبی برای آن‌ها وجود ندارد (۴).

از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای خطرناک و تهدید کننده حیاط این گروه می‌توان به تب خونریزی دهنده ویروسی مانند ویروس ماربورگ، ویروس ابولا، ویروس لاسا، تب خونریزی دهنده کریمه کنگو و موارد مشابه اشاره کرد (۴).


سطح ۴ ایمنی زیستی معرف آزمایشگاه‌هایی است که از نظر سطح ایمنی زیستی بسیار محدود و یا محصور شده تلقی گردیده و ساختمان آن کاملاً در فضایی مجزا قرار می‌گیرد. استفاده از سیستم فشار منفی، دوش و قفل هوا الزامی بوده و از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار هستند.

از نظر عملیات و عملکرد آزمایشگاهی ملزومات سطح ۳ همراه با سیستم قفل هوا در محل ورود، دوش در محل خروج و نیز مدیریت خاص برای دفع صحیح پسماندها را شامل می‌گردد.


از نظر تجهیزات ایمنی، استفاده از هود ایمنی زیستی کلاس ۳ و یا لباس‌های دارای فشار مثبت همراه با هود ایمنی زیستی کلاس ۲، همچنین اتوکلاو دارای دو در (قرار گرفته در حد فاصل دیوار) برای خروج مواد و نیز هوای فیلتر شده را شامل می‌شود (۱).

نمای شماتیک از سطوح چهارگانه ایمنی زیستی و امکانات، تجهیزات و تاسیسات آنها در شکل ۶ نشان داده شده است (۱۷).

### BSL1

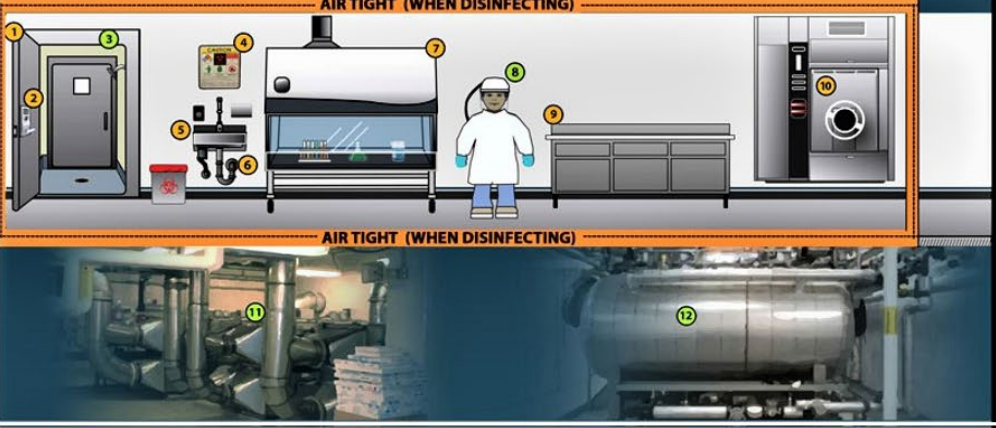


### BSL2



### BSL3 (WITH RISK-BASED ENHANCEMENTS)


AIR TIGHT (WHEN DISINFECTING)



AIR TIGHT (WHEN DISINFECTING)

### BSL4

AIR TIGHT



AIR TIGHT

● Required safety equipment
● Risk-based enhancements

[www.cdc.gov/24-7](http://www.cdc.gov/24-7)

BSL1

- 1- Controlled Access
- 2- Hand Washing Sink
- 3- Sharp Hazards Warning Policy
- 4- Personal Protective Equipment
- 5- Laboratory Bench
- 6- Autoclave

BSL2

- 1- Controlled Access
- 2- Hand Washing Sink
- 3- Sharp Hazards Warning Policy
- 4- Physical Containment Device
- 5- Personal Protective Equipment
- 6- Laboratory Bench
- 7- Autoclave

BSL3

- 1- Self-Closing, Double-Door Access
- 2- Controlled Access
- 3- Personal Shower
- 4- Sharp Hazards Warning Policy
- 5- Hand Washing Sink
- 6- Sealed Penetrations
- 7- Physical Containment Device
- 8- Powered Air Purifying Respirator
- 9- Laboratory Bench
- 10- Autoclave
- 11- Exhaust HEPA Filter
- 12- Effluent Decontamination System

BSL4

- 1- Self-Closing, Double-Door Access
- 2- Controlled Access
- 3- Sharp Hazards Warning Policy
- 4- Hand Washing Sink
- 5- Sealed Penetrations
- 6- Physical Containment Device
- 7- Positive Pressure Protective Suit
- 8- Laboratory Bench
- 9- Autoclave
- 10- Chemical Shower Out
- 11- Personal Shower Out
- 12- Supply And Exhaust HEPA Filters
- 13- Effluent decontamination system

شکل ۶. نمای شماتیک از سطوح چهارگانه ایمنی زیستی و امکانات، تجهیزات و تاسیسات آنها (۱۷)



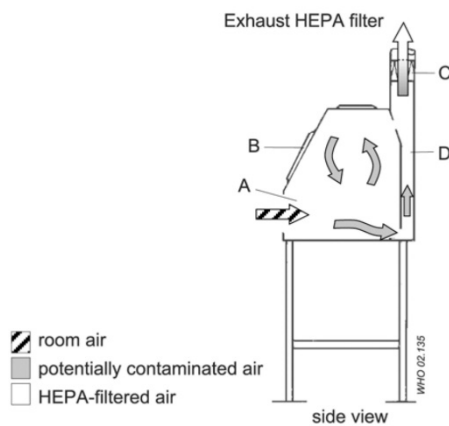
انتخاب هود ایمنی زیستی مناسب براساس ارزیابی ریسک انواع ارگانسیم‌های بیولوژیکی و سایر مواد مورد استفاده انجام می‌شود.

### ۳-۳-۱- انواع هودهای ایمنی زیستی و روش کار آنها

هودهای ایمنی زیستی بر اساس نیازهای مختلف مراکز تشخیصی و پژوهشی،ها در سه رده/کلاس ۱، ۲ و ۳ توسعه یافته‌اند. هودهای ایمنی زیستی کلاس ۱ دارای یک فیلتر بوده که در قسمت خروجی قرار دارد و فقط از کاربر در برابر مواد شیمیایی و بوی نامطبوع محافظت می‌کند. بیشتر این نوع هودها دارای یک فیلتر هپا هستند که این فیلترها بعد از تصفیه نمودن هوا آن را به محیط بازمی‌گردانند.

در هودهای ایمنی زیستی کلاس ۱ هوای اتاق از طریق منطقه باز جلویی وارد فضای داخلی هود شده و از سطوح کاری عبور کرده و از طریق مجرای خروجی هوا تخلیه می‌شود.

معمولاً در این نوع هودها، هوای اتاق با سرعت حداقل ۳۸/۰ متر بر ثانیه وارد سطح کاری شده و سپس وارد کانال خروجی هوا می‌گردد. در شکل ۷ نمای شماتیک از کارکرد هود ایمنی زیستی کلاس ۱ نشان داده شده است (۲۲).



شکل ۷. نمای شماتیک از کارکرد هود ایمنی زیستی کلاس ۱ (۱۳)

A: Front Opening, B: Sash, C: Exhaust HEPA Filter, D: Exhaust Plenum.

به دلیل نیاز به کشت سلولی و بافتی برای تکثیر ویروس‌ها و موارد مشابه، عبور هوای غیر سترون از روی سطح کاری موجب آلودگی گردیده و لذا هود ایمنی زیستی کلاس یک در این موارد کاربرد ندارد. با توجه به این نکته برای حفاظت سطح کار از هوای آلوده اتاق، هود ایمنی زیستی کلاس ۲ طراحی گردیده که در این

چنانچه اطلاعات دقیق و درستی از قطعه DNA ورودی وجود نداشته باشد در نهایت دقت و احتیاط با آن کار کرد. به‌عنوان مثال زمانی که کتابخانه ژنتیکی از ژنوم یک ارگانسیم پاتوژن ساخته می‌شود.

چنانچه محصول ژن ورودی سمی است و یا اثرات دارویی و درمانی دارد باید احتیاط‌های بیشتری در نظر گرفته شود (۲۰).

### ۳-۳-۲- کار با حامل‌های ویروسی برای انتقال ژن

حامل‌های ویروسی مانند آدنوویروس‌ها و سایر ویروس‌های مشابه برای انتقال ژن به سلول‌ها بسیار به کار گرفته می‌شوند. چنین ویروس‌هایی فاقد برخی ژن‌های دخیل در تکثیر و همانندسازی هستند و در سلول‌هایی که این نقص را جبران می‌کنند، قابل تکثیر هستند. چنین ویروس‌هایی ممکن است در اثر نوترکیبی با سایر ویروس‌ها یا سلول‌های میزبان توانایی از دست رفته خود را باز یابند. بنابراین لازم است همواره تمام اصول ایمنی کار با ویروس‌های کامل رعایت شود (۲۱).

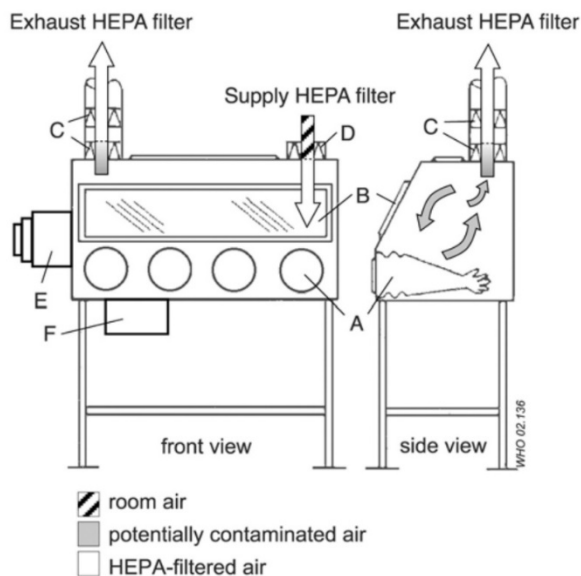
### ۳-۳-۴- کابینت (هود)های ایمنی زیستی

هود ایمنی زیستی (Biologic Safety Cabinet: BSC) یک فضای کاری آزمایشگاهی برای کار به صورت ایمن با مواد آلوده یا مشکوک به عوامل بیماری‌زا است. از هودهای ایمنی زیستی به‌عنوان ابزاری مطمئن جهت محافظت کاربر، محیط آزمایشگاه و فضای کار در برابر ذرات معلق در هوا (Aerosol)، ترشحات آلوده به هنگام کار با مواد عفونی و کار با مواد شیمیایی و رادیو اکتیو طراحی شده‌اند.

معمولاً در انواع مختلف هودها (کابینت‌های) ایمنی زیستی از فیلترهای با بازده بالا در برابر عبور ذرات (High Efficiency Particle Air: HEPA) یا فیلترهای مقاوم در برابر عبور ذرات بسیار ریز (Ultra Low Particle Air: ULPA) در خروجی سیستم (اگزاست) یا تأمین کننده هوا برای به دام انداختن ذرات معلق در هوا استفاده می‌شود. این فیلترها قادر هستند ۹۷/۹۹ درصد ذرات با قطر ۰/۳ میکرون و ۹۹/۹۹ درصد ذرات با قطر بزرگتر از این مقدار را در خود حبس نمایند و به این دلیل محیط ایمنی در آزمایشگاه ایجاد نمایند.

بسته به ساختار این فیلترها، جهت جریان هوا و ارتفاع پنجره، می‌توان به سطوح مختلفی از محافظت کارکنان، محصول و محیط کار دست یافت.

با قابلیت جابجایی و جداسازی قطعات است که در طراحی آزمایشگاه باید به‌طور جدی به آن توجه شود.



شکل ۸. نمای شماتیک از کارکرد هود ایمنی زیستی کلاس ۳ (۱۳)

یکی از مشکلاتی که خصوصاً در آزمایشگاه‌های بیمارستانی وجود دارد، احاطه شدن فضاهای آزمایشگاهی با بخش‌های دیگر بیمارستان است (۲۳) که توسعه فضاها را با مشکل روبه‌رو می‌کند. این مشکل باید در طراحی ابتدایی ساخت مراکز بیمارستانی در نظر گرفته شود تا فضای مطلوب در صورت توسعه بخش‌های بیمارستانی و به تبع آن آزمایشگاه با چالش کمتری روبه‌رو گردد.

طراحی آزمایشگاه‌های پزشکی با در نظر گرفتن مواردی که در این مقاله عنوان شد موجب ساخت مکانی می‌شود که نه تنها پاسخگوی نیاز مراجعان بلکه فراهم‌کننده راحتی و ایمنی کارکنان خواهد بود. چنین آزمایشگاهی با افزایش بهره‌وری سودآوری بیشتری خواهد شد که در نهایت موجب سودی همه‌جانبه می‌شود. اما خطا در طراحی و اجرای هر کدام از این موارد می‌تواند موجب خسارات خرد و کلان شود که بحث درباره آنها از حوصله این بحث خارج است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

طراحی آزمایشگاه‌های پزشکی با در نظر گرفتن مواردی که در اینمقاله عنوان شد موجب ساخت مکانی می‌شود که نه تنها پاسخگوی نیاز مراجعان بلکه فراهم‌کننده راحتی و ایمنی کارکنان

هودها هوای سترون فیلتر شده توسط فیلتر هپا روی سطح کار جریان می‌یابد و لذا این هودها در کشت سلولی و بافتی کاربرد دارند.

هود ایمنی زیستی کلاس ۲ متداول‌ترین نوع هود در آزمایشگاه پزشکی است. این نوع هودها علاوه بر کاربرد و از محصول نیز محافظت می‌نمایند و اساساً چرخش هوای درونی از کاربرد دور گردیده و به سمت او بر نمی‌گردد. در زمان استفاده این نوع هودها و کار با مواد شیمیایی خطرناک، حتماً باید از هود با مجرای خروجی (کانال دار) استفاده گردد (۱). از هود کلاس ۲ می‌توان برای کار با عوامل عفونی در گروه‌های خطر دو و سه استفاده کرد.

هود کلاس ۲ در چهار زیر رده (نوع) مختلف بر اساس نیاز مراکز تولید می‌شوند که تفاوت آنها در سرعت ورودی هوا، میزان هوای برگشتی به سطح کار و عملکرد سامانه تعیین‌کننده میزان هوای خروجی است. انواع هود ایمنی زیستی کلاس ۲ به چهار نوع یا زیر رده  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  و  $B_2$  تقسیم می‌گردند.

در هودهای ایمنی زیستی کلاس ۳ بالاترین سطح محافظت از کارکنان فراهم شده است و بری کار با عوامل ریسک گروه ۴ مناسب است. تمامی منافذ این نوع هودها درزگیری و عایق‌بندی شده تا مانع نفوذ هر گونه جریان هوای غیر کنترل شده به داخل هود گردد. دسترسی به سطح کار صرفاً از طریق دستکش‌های لاستیکی و ضخیم متصل به هود و عایق بندی شده، امکان پذیر است. در بعضی از انواع این هودها، امکان استفاده از یک اتوکلاو (دمفشار) دو درب برای آلودگی‌زدایی تمام مواد و پسماندهای آلوده وارد یا خارج شده از هود، فراهم شده است. هودهای ایمنی زیستی کلاس ۳ برای کار در آزمایشگاه‌های سطح ۳ و ۴ ایمنی زیستی مناسب است.

در هودهای ایمنی زیستی کلاس ۳ هوا بیرون هود ابتدا از فیلتر هپا عبور کرده و وارد هود می‌شود. سپس این هوای تصفیه شده پس از گردش در داخل مجدداً از دو فیلتر هپای دیگر گذر کرده و از هود خارج می‌شود (۱).

در شکل ۸ نمای شماتیک از کارکرد هود ایمنی زیستی کلاس ۳ نشان داده شده است (۱۳).

#### ۳-۴- میزان انعطاف‌پذیری فضا برای توسعه آینده

پیشرفت تکنولوژی در آزمایشگاه‌های پزشکی و تغییر در نیازها لزوم پیش‌بینی تغییر فضای کاربری و توسعه آتی در فضاها را مطرح می‌کند. یکی از مواردی که می‌تواند این نیاز را برطرف نماید، استفاده از سیستم سکوبندی و پارتیشن‌بندی انعطاف‌پذیر

خواهد بود. چنین آزمایشگاهی با افزایش بهره‌وری سودآوری بیشتری خواهد شد که در نهایت موجب سودی همه‌جانبه می‌شود. اما خطا در طراحی و اجرای هر کدام از این موارد می‌تواند موجب خسارات خرد و کلان شود. همان طور که در این مقاله بیان گردید مراحل طراحی شامل پیش طراحی، برنامه ریزی فیزیکی، ایمنی و بهره‌وری تجهیزات لازم و میزان انعطاف پذیری فضا برای توسعه آینده می‌باشد که بایستی در طراحی فضای فیزیکی آزمایشگاه مد نظر قرار گیرد و علاوه بر این، این مراحل خود شامل مراحل جزئی تر و الزامات و استانداردهایی است که رعایت آن در طراحی فضای فیزیکی آزمایشگاه الزامی است.

### سپاسگزاری

ندارد.

### تعارض در منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارضی در منافع را گزارش نکردند.

### منابع مالی

این مقاله پژوهشی مستقل است که بدون حمایت مالی سازمانی انجام گرفته است.