



Efficiency in the utilization of diagnostic imaging equipment in hospitals and strategies for its enhancement: A case study in a specialized hospital in Tehran

Sayyed_Morteza Hosseini_Shokouh^{1,2} , Nooredin dopeykar³, Samaneh Vahidifar^{4,5}, Zahra Motaghed⁶, Yaghoob Yousefi⁷, Mohammad Meskarpour_Amiri^{8*}

¹ Associate Professor, Health Management Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

² Associate Professor, Faculty of Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

³ MSc, Health Management Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

⁴ MSc, Clinical Research Development Unit, Baqiyatallah Hospital, Tehran, Iran.

⁵ MSc, Health Management Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

⁶ MD, Department of Radiology, Faculty of Medicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

⁷ Msc, School of Health Management and Information Sciences, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

⁸ Assistant Professor, Health Management Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Corresponding Author:

Mohammad

Meskarpour_Amiri

e-mail addresses:

mailier.amiri@gmail.com

Received: 27/Jun/2023

Modified: 13/Sep/2023

Accepted: 20/Sep/2023

Available online:

03/Aug/2024

Keywords:

Efficiency

Equipment utilization

Diagnostic imaging

Hospital

ABSTRACT

Introduction: Enhancing the efficiency of medical equipment utilization can result not only in reduced treatment costs but also in shorter waiting times and increased patient satisfaction. This study aimed to estimate the utilization coefficient of diagnostic imaging equipment and provide solutions for its improvement.

Methods: The present cross-sectional study was conducted using mixed methods approach in two quantitative and qualitative stages. In the first stage, the utilization of three main imaging-diagnostic equipment of a specialized hospital (encompassing three ultrasound machines, two MRI devices, and one CT angiography machine) was investigated from March 2018 to March 2019. The study employed two indices, the calendar utilization coefficient, and the service provision utilization coefficient to gauge the efficiency of equipment utilization. In the second stage, the main causes of reduced equipment utilization and improvement solutions were determined through focused group discussions with the participation of 15 experts using the content analysis method.

Results: Among the assessed equipment, the lowest utilization coefficient was related to the CT angiography at 25% and the intervention ultrasound machine at 33%, respectively. The utilization coefficient for the ultrasound machine in the outpatient and the inpatient departments was 41% and 81%, respectively, and for the MRI machine in the outpatient and the inpatient departments was 84% and 46%, respectively. Common factors contributing to reduced utilization of diagnostic imaging equipment within the hospital comprised insufficient human resources, delays in patient transfers from inpatient departments, inadequate workspace in diagnostic imaging units, and suboptimal preventive maintenance systems.

Conclusion: Maximizing the capacity of diagnostic imaging equipment in the hospital necessitates augmenting and motivating human resources, streamlining workflow and patient transfer across departments, restructuring the workspace within diagnostic imaging units, and making strategic investments in equipment maintenance systems.

Copyright: © 2024 The Author(s); Published by Iran University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

Introduction

Optimal utilization of hospital equipment not only reduces hospital costs but also leads to faster patient care, improved patient flow in hospitals, enhanced quality of patient care, and increased patient satisfaction. [1,2] Therefore, enhancing the efficiency of diagnostic-imaging equipment in hospitals can directly result in cost savings in care provision and indirectly, by reducing patient stay duration, result in increased bed turnover, improved patient satisfaction and the advancement of the hospital's economy. [3] The current study aimed to identify the level of operation of diagnostic-imaging equipment in one of the Iranian hospitals and provide solutions to improve the operation of diagnostic-imaging equipment in hospitals.

Methods

The current cross-sectional study was conducted using a mixed-methods approach in two quantitative and qualitative phases in 2019-2020 at a specialized hospital in Tehran, Iran. The study population included all diagnostic-imaging equipment in the hospital, from which the most important main diagnostic-imaging equipment, including CT angiography (CTA) machine, sonography machine, and magnetic resonance imaging (MRI) machine, were selected for evaluation through purposive sampling. The utilization of diagnostic-imaging equipment since the beginning of 21 March 2018 to the end of 20 March 2019 (1397 HS) was measured. The calculations of utilization coefficients were based on the guidelines of Rothman et al. [4] as follows: A) Calendar utilization coefficient: This coefficient represents the ratio of the number of working days the equipment was available to the total number of calendar days. This measure is typically used to evaluate equipment utilization over a

designed period of time. The calendar utilization coefficient is calculated as follows:

$$K_{\text{calendar}} = t_{\text{nominal}} / t_{\text{calendar}}$$

Where:

K_{calendar} : Calendar utilization coefficient

t_{nominal} : The number of working days in a given period when, based on the institution's work schedule, the equipment could be used.

t_{calendar} : The total number of calendar days in the same period

B) Utilization coefficient of service provision: This coefficient represents the ratio of the number of hours the equipment was actually used for providing services to patients to the total potential working hours of the equipment. This measure examines the actual utilization of equipment in service provision more precisely. The mathematical equation for calculating the utilization coefficient of service provision was as follows:

$$K_{\text{service}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot T_i}{N_{\text{max}}}$$

Where:

K_{service} : Utilization coefficient of service provision in a given time period

N_i : Number of times service i was provided in a given time period

T_i : Time required to provide service i (average time required to provide service i)

N_{max} : Maximum time the equipment could be used in a given time period, which can be calculated either potentially (full-time) or actually (based on the existing equipment schedule)

Subsequently, the lost utilization (LU) of diagnostic-imaging equipment was calculated and reported using the following equation:

$$Lu = 1 - K_{\text{service}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot T_i}{N_{\text{max}}}$$

The necessary information for calculating the utilization coefficient for each

diagnostic-imaging equipment, including the number of days and hours of operation of each machine, the number and type of services provided by each machine during the study period, was collected from the machine performance records in hospital information system (HIS). Moreover, the time required to provide each service (T_i) in the cases of minimum and maximum interruption was collected through surveying the users of each machine, and the average time required to provide each service was calculated as the arithmetic mean. After data collection, the utilization coefficient for each diagnostic-imaging equipment was calculated separately using Stata 14. In the second phase of this study, the most important barriers and solutions for improving the utilization of diagnostic-imaging equipment were identified through the qualitative method by forming focus group discussions with the participation of 15 subject matter experts including supervisors of diagnostic-imaging departments, imaging technicians, biomedical equipment experts, and with the presence of a radiologist.

Results

The calendar utilization coefficient of diagnostic-imaging equipment in the first and second six months of year is presented in Table 1. Based on Table 1, the average calendar utilization coefficient of the equipment was 88.7%, indicating that according to the existing work schedule, on average the diagnostic-imaging equipment was not used on 11.3% of the days of the year. Among the evaluated equipment, the interventional sonography machine had the lowest average calendar utilization coefficient (77%) and was not used on average 23% of the days of the year. Table 2 shows the utilization coefficient of service provision for each main diagnostic-imaging equipment. According to Table 2, the utilization coefficient of service provision for the inpatient MRI machine was 45.9% which

could be improved up to 86.4% by increasing the machine operating hours to full-time. The lost utilization of the inpatient MRI machine was 54.1% which could be reduced to 13.6% by increasing the machine operating hours to full-time. The utilization coefficient of service provision for the outpatient MRI machine was 84.3% which could not be improved since the machine was already operating full-time.

Table 1: Calendar utilization coefficient of main diagnostic-imaging equipment in the studied hospital

Equipment	Calendar Utilization Coefficient (Kcal)		
	First 6 months (%)	Second 6 months	Average (%)
Inpatient MRI	100	98.4	99.2
Outpatient MRI	98.9	84.4	91.6
Inpatient Sonography	100	99.5	99.7
Outpatient Sonography	88.8	72.6	80.7
Interventional Sonography	81	73.7	77.3
CT Angiography	86	81.2	83.6
Average	92.4	84.9	88.7
Standard Deviation	5.7	10.6	8.7

The utilization coefficient in service provision for the sonography machine was 33.4% and could be increased to 74.3% by increasing the machine working hours. The lost utilization of the sonography machine was 66.6%, which could be reduced to 25.7% by operating the machine on a full-time basis. The utilization coefficient in service provision for the sonography machine in the inpatient department was 80.6% and could not be increased due to the machine full-time operation. The lost utilization of the sonography machine in the inpatient department was 19.4%. The utilization coefficient in service

provision for the CT angiography machine was 25.5% and could be increased to 55.4%, with the remaining

44.6% attributed to a lack of utilization in service delivery.

Table 2: Utilization coefficient in service provision and lost utilization of diagnostic-imaging equipment

Equipment Name	Maximum Operating Time* (N_{max})	Utilization Coefficient in Service Provision ($K_{service}$)	Lost Utilization (LU)
MRI Inpatient	Current operating time (13 hours × 284 days)	0.864	0.136
	Potential operating time (21 hours × 365 days)	0.459	0.541
MRI Outpatient	Current operating time (21 hours × 365 days)	0.843	0.157
	Potential operating time (21 hours × 365 days)	0.843	0.157
Interventional Sonography	Current operating time (12 hours × 285 days)	0.743	0.257
	Potential operating time (21 hours × 365 days)	0.334	0.666
Inpatient Sonography	Current operating time (21 hours × 365 days)	0.806	0.194
	Potential operating time (21 hours × 365 days)	0.806	0.194
Outpatient Sonography	Current operating time (12 hours × 280 days)	0.855	0.145
	Potential operating time (21 hours × 365 days)	0.406	0.596
CT Angiography	Current operating time (12 hours × 294 days)	0.554	0.446
	Potential operating time (21 hours × 365 days)	0.255	0.745

* The maximum operating time of the device is considered in two modes: potential (full-time) and current (based on the existing schedule). In the potential mode, the device can be used for 21 hours every day for 365 days a year (with consideration for 3 hours of shift change and device rest). However, the current mode is institution-specific for each device. For example, according to the hospital schedule, the CT angiography device is available only on non-holiday days (equivalent to 294 days) from 6 AM to 6 PM (12 hours) (12×294).

The reasons for the decline in service provision efficiency and its enhancement solutions for hospital diagnostic-imaging equipment are presented in Table 3. According to Table 3, the main common reasons for the decline in efficiency of hospital diagnostic-imaging equipment include a weak preventive maintenance system, inadequate department space, delays in patient transfers from the inpatient department (patient transfer management), and a shortage of human

resources. In this regard, solutions such as strengthening the preventive maintenance system for equipment management, workspace reengineering for departments, improving patient transfer time management, and proportionally increasing specialized human resources were among the most important solutions proposed to improve the efficiency of hospital diagnostic-imaging equipment.

Table 3: Main reasons for the efficiency decline in diagnostic-imaging equipments and efficiency enhancement solutions

Reasons for decreased efficiency in MRI device		Strategies to improve efficiency in MRI device
1	Weak preventive maintenance system (delay in replacing compressor filters, delay in updating device software)	✓ To strengthen preventive maintenance management system for equipment
2	Inappropriate space of imaging department (lack of patient W.C within the department)	✓ To reengineer the workspace of the inpatient MRI section
3	Delay in manual patient acceptance and reporting processes in MRI	✓ Electronic processing and reporting of MRI acceptance
4	Lack of specialized and sub-specialized human resources (MRI specialist and sub-specialized personnel for improving radiology reports)	✓ Recruitment of resident and MRI specialist
Reasons for decreased efficiency in sonography device		Strategies to improve efficiency in sonography device
1	Educational nature of the department (checking residents' work with professors)	✓ To improve maintenance management of devices
2	Weak preventive maintenance and periodic servicing (1-month delay due to ultrasound probe burning)	✓ To identify and solve problems in patient transfer delays
3	Delay in patient transfers from inpatient department to sonography department (delay in patient transfers)	✓ To enhance the quality of patient transfers
4	Poor quality patient transfers (failure to perform tasks related to patient transfers including changing sheets and moving patients)	✓ To reengineer the workspace of the echocardiography department
5	Mismatch in patient gender during transfer (using male help for transferring a female patient and vice versa)	✓ Time planning for timely physician presence in the department
6	Lack of department personnel and multiple duties (patient reception, typing sonography results, coordination of patient entries and exits, telephone appointment scheduling, and medical order control by a single staff member)	✓ Adherence to gender diversity in patient transfers
7	Irregular and delayed presence of specialists due to conflicting educational (training classes) and outpatient treatment duties (practically present from 9 AM to 3 PM)	✓ 24-hour use of outpatient sonography device
8	Inappropriate department space design (W.C, waiting room, segregation of inpatient and outpatient spaces)	✓ Utilization of electronic health records to view patient treatment history for faster consultations
9	Lack of interventional radiology sub-specialist physician	✓ Addition of a new device for emergency sonography patients
		✓ Addition of human resources as physician assistants
		✓ Addition of interventional radiology sub-specialist physician
Reasons for decreased efficiency in CT angiography device		Strategies to improve efficiency in CT angiography device
1	Recent establishment of the device site at the hospital (in 2017 and 2018)	✓ Structured design of the department space for separating patient reception and preparation
2	Insufficient space in the department to provide CT angiography services (multiple use of a single space)	✓ To increase recovery beds and necessary space for patient preparation
3	Inadequate department design for patient preparation (lack of space and preparation and recovery beds for patients)	✓ To establish a regular monitoring system for periodic servicing of equipment
4	Lack of periodic maintenance and recurring device errors	✓ To increase human resources (at least one reception staff)
5	Delay in patient transfers from inpatient departments to CT angiography department	✓ To identify and solve problems in patient transfer delays
6	Lack of human resources for reception and multiple duties (typing results and reception by a single staff)	
7	The time-consuming nature of preparing the patient in terms of physical, physiological, and mental conditions for receiving services (patient's heart rate stability)	

Discussion

According to the findings, among the equipment examined, the lowest utilization

rate belongs to the CT angiography device with a 25% utilization rate (equivalent to 75% lost utilization) and the interventional

sonography device with a 33% utilization rate (equivalent to 67% lost utilization). It is worth mentioning that the lost utilization of these devices is related to factors such as the lack of sub-specialized human resources for continuous operation with these devices, the time-consuming patient preparation for these interventions, the shortage of human resources assisting physicians, and the inappropriate design of the department for patient preparation (patient preparation and recovery on service beds). Additionally, among the examined equipment, the highest utilization rates belong to the MRI devices in the outpatient department (84%) and the sonography devices in the inpatient department (80%), with less than 20% lost utilization in these devices. The utilization rate of diagnostic imaging equipment varies significantly in different studies depending on various factors such as the type of equipment, the type of hospital, geographical location, and patient population (community healthcare). Studies have reported a wide range of utilization rates for various medical equipment, ranging from high usage rates of around 80% to low usage rates of less than 50%. [1-3,5,6] Estimated medical equipment utilization rates in Ethiopia showed that the average medical equipment utilization rate in this country was 49.0% (with a 95% confidence interval in the range of 55.0-44.0). [3] A study conducted by Lathwal and Banerjee [6] in a regional hospital in Haryana, India, revealed that the actual utilization of available equipment capacity was only 39.3%. Additionally, 35.5% of the equipment either were unusable or were not being utilized and were kept as reserves. In a study by Chaudhary and Kaul [1] in level 3 hospitals (specialized and sub-specialized) in a region of India, it was demonstrated that the hospital equipment utilization rate based on equipment prices in three categories of expensive, average-priced, and inexpensive equipment was equivalent to 58.1%, 62.1%, and 60.4%, respectively. Although a

specific spectrum for categorizing levels of medical equipment utilization (UC) has not been presented, a review of studies indicates that utilization rates below 50% (equivalent to a loss of utilization above 50%) can be considered low utilization, while utilization rates above 80% (equivalent to a loss of utilization below 20%) can be considered appropriate or good utilization. For example, a study by Tesfaye and colleagues [3], regarding the utilization rate of medical equipment in Ethiopia, stated that out of 192 devices examined, 111 devices (approximately 57%) were effectively used ($UC \geq 50$), while 81 devices (about 42%) lacked proper utilization ($UC < 50$). A study by Chaudhary and Kaul [1] in a specialized hospital in India in 2015 showed that 96% of the equipment operated below their full capacity, with 96% of the equipment having a utilization rate (UC) of less than 100%, and even 23% of the diagnostic hospital equipment had utilization rates of less than 50%. Our findings emphasize the importance of improving the utilization of diagnostic imaging equipment in hospitals. By addressing the identified factors in this study, the efficiency of providing diagnostic imaging services can be increased. This, in turn, can reduce costs, decrease patient waiting times and lengths of stay, enhance quality of care, and improve patient satisfaction. Strategic investments in maintenance systems, allocation of sufficient human resources, increasing employee motivation, redesigning diagnostic imaging departments, and optimizing patient flow in these departments are key considerations for achieving optimal use and maximizing the benefits of expensive diagnostic imaging technologies in hospitals. Additionally, the necessity of managerial interventions to improve time management in the patient transfer chain, patient preparation, and adequate utilization of service personnel alongside specialized human resources can be an effective

solution for increasing the efficiency of care delivery. Efforts should focus on streamlining patient transfers between departments to reduce delays, ensuring smooth patient flow within departments, and minimizing service interruptions by optimizing the physical workspace of departments and aligning human resources with patient volumes.

Acknowledgment

Ethical Considerations: This study was conducted in full compliance with ethical principles in research. The research proposal with code IR.BMSU.REC.1398.091 was approved by the Ethics Committee in Biological Research of Baqiyatallah University of Medical Sciences. All information obtained was used confidentially and securely, and the relevant ethical principles were adhered to.

Funding: This research was financially supported by the Clinical Research Development Unit of Baqiyatallah Hospital, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran (the number: 1398091). The financial supporter coordinated access to the data but did not participate in data analysis or manuscript writing.

Conflict of Interest: The authors declared

no conflicts of interest.

Authors' Contributions: Mohammad Meskarpour Amiri: Conceptualization, Study design, Supervision, Data collection, Data analysis Sayyed_Morteza Hosseini_Shokouh: Conceptualization, Study design, Supervision, Data collection; Noradin Dopeykar: Conceptualization, Study design, Data collection; Samaneh Vahidifar: Data collection, Data analysis; Yaghoob Yousefi: Data collection, Writing-original draft; Zahra Motaghd: Data collection, Writing-original draft. All authors reviewed and approved the final manuscript.

Consent for Publication: Not applicable.

Data Availability: Access to the research data can be obtained with the approval of the studied hospital by sending an email to the corresponding author.

Declaration of Artificial Intelligence: No artificial intelligence tools were used in conducting this study or writing the Persian manuscript. Barely.AI was used for English editing and improving English abstracts. The translated content by AI was reviewed and approved by the authors.


Acknowledgements: The authors thank the Clinical Research Development Unit of Baqiyatallah Hospital for their financial support, guidance, and consultation.

References

1. Chaudhary P, Kaul P. Factors affecting utilization of medical diagnostic equipment: a study at a tertiary healthcare setup of Chandigarh. *Chrimed J Health Res.* 2015;2(4):316-323. doi: 10.4103/2348-3334.165741.
2. Wei Y, Yu H, Geng J, Wu B, Guo Z, He L, et al. Hospital efficiency and utilization of high-technology medical equipment: a panel data analysis. *Health Policy Technol.* 2018;7(1):65-72. doi: 10.1016/j.hlpt.2018.02.005.3.
3. Tesfaye Geta E, Terefa DR, Desisa AE. The Efficiency of medical equipment utilization and its associated factors at public referral hospitals in east Wollega Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Med Devices (Auckl).* 2023;22(16):37-46. doi: 10.2147/MDER.S402721.4.
4. Roitman M, Ivanova T, Tutina L. Evaluation of the utilization of medical equipment in hospitals. *Biomed Eng.* 1968;2(1):37-40. doi: 10.1007/BF00552263.5.
5. Gupta V, Sarode SC. Assessment of equipment utilization and maintenance schedule at a dental institution in Bengaluru, India. *World J Dent.* 2014;8(2):104-8. doi: 10.5005/jp-journals-10015-1272.
6. Lathwal O, Banerjee A. Availability and utilization of major equipment at the district hospital, Gurgaon. *Haryana J Acad Hosp Adm.* 2001;13(2):23-8. doi: 10.5005/jp-journals-10015-142.

مقاله اصیل

بررسی کارایی در بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری بیمارستانها و
راهکارهای ارتقای آن: مطالعه موردی در یک بیمارستان فوق تخصصی در تهران

سید مرتضی حسینی شکوه^{۱،۲} ، نورالدین دوپیکر^۲، سمانه وحیدی فر^{۴،۵}، زهرا معتقد^۶، یعقوب یوسفی^۷، محمد مسگرپور امیری^{۸*}

^۱دانشیار اقتصاد سلامت، مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا... (عج)، تهران، ایران.

^۲دانشیار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

^۳کارشناسی ارشد اقتصاد سلامت، مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا... (عج)، تهران، ایران.

^۴کارشناسی ارشد فناوری اطلاعات، واحد توسعه تحقیقات بالینی، بیمارستان بقیه ا... (عج)، تهران، ایران.

^۵مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا... (عج)، تهران، ایران.

^۶متخصص رادیولوژی، گروه علمی رادیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران.

^۷کارشناسی ارشد اقتصاد سلامت، دانشکده مدیریت و اطلاع رسانی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

^۸استادیار اقتصاد سلامت، مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا... (عج)، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

نویسنده مسئول:

محمد مسگرپور امیری

رایانامه:

mailer.amiri@gmail.com

وصول مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶

اصلاح نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

مقدمه: بهره‌برداری درست از تجهیزات تشخیصی-تصویری، علاوه بر کاهش هزینه‌های درمانی، می‌تواند منجر به کاهش مدت زمان انتظار و افزایش رضایتمندی بیماران شود. لذا، هدف این پژوهش برآورد میزان بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری و ارائه راهکارهای ارتقای آن بود.

روش‌ها: مطالعه حاضر یک پژوهش مقطعی است که به روش ترکیبی طی دو مرحله کمی و کیفی انجام شد. در مرحله اول، بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری اصلی یک بیمارستان تخصصی-فوق تخصصی (شامل سه دستگاه سونوگرافی، دو دستگاه MRI و یک دستگاه CT آنژیوگرافی) در بازه زمانی اول فروردین ماه ۱۳۹۷ تا پایان اسفندماه ۱۳۹۷ بررسی شد. به منظور سنجش میزان بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری، از دو شاخص ضریب بهره‌برداری تقویمی و ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت استفاده شد. سپس در مرحله دوم، علل اصلی افت بهره‌برداری از تجهیزات و راهکارهای ارتقای آن، با تشکیل گروه‌های بحث متمرکز با حضور ۱۵ نفر از خبرگان در سه ماهه اول سال ۱۳۹۸ به روش تحلیل محتوی، احصا گردید.

یافته‌ها: در بین تجهیزات مورد بررسی کمترین ضریب بهره‌برداری به ترتیب مربوط به دستگاه CT آنژیو با ۲۵ درصد و دستگاه سونوگرافی مداخله‌ای با ۳۳ درصد بود. ضریب بهره‌برداری برای دستگاه سونوگرافی بخش سرپایی و بخش بستری به ترتیب ۴۱ و ۸۱ درصد و برای دستگاه MRI بخش سرپایی و بخش بستری به ترتیب ۸۴ و ۴۶ درصد بود. علل اصلی مشترک افت بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری شامل کمبود نیروی انسانی بخش، تاخیر در جابه‌جایی بیماران از بخشهای بستری، فضای نامناسب بخشهای تشخیصی-تصویری و ضعف نظام تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بود.

نتیجه‌گیری: استفاده بهینه از ظرفیت تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان مستلزم افزایش تعداد و انگیزه نیروی انسانی، بهینه‌سازی گردش کار و جابه‌جایی بیمار بین بخشها، بازطراحی فضای کاری بخشهای تشخیصی-تصویری و سرمایه‌گذاری استراتژیک در سیستم‌های تعمیر و نگهداری است.

واژه‌های کلیدی:

کارایی

بهره‌برداری از تجهیزات

تصویربرداری تشخیصی

بیمارستان

استهلاک تجهیزات تشخیصی-تصویری است که سالانه به بیمارستان تحمیل می‌شود. بسیاری از تجهیزات تشخیصی-تصویری جدیدی که خریداری می‌شوند، معمولاً پس از گذشت شش تا هفت سال از نصب، قدیمی شده، و عملکرد آن‌ها کاهش می‌یابد. [۵] بی‌توجهی به بهره‌برداری مناسب از تجهیزات تشخیصی-تصویری، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، و فقدان خدمات تعمیر و نگهداری مناسب و نیز کمبود پرسنل کارآموده برای کاربرد این تجهیزات، منجر به کاهش بهره‌برداری از تجهیزات و افزایش قابل توجه در هزینه‌های درمان می‌گردد. [۸] شواهد موجود در مورد کشورهای درحال توسعه، نظیر ایران، نشان می‌دهد که عدم توجه به بهره‌برداری مناسب از تجهیزات پزشکی، علاوه بر کاهش درآمدهای بیمارستان، بیماران را دچار سردرگمی می‌کند و منجر به اتلاف پول و وقت آن‌ها می‌شود. طبق آمار وزارت بهداشت ایران در سال ۱۳۸۴، حدود پنج هزار میلیارد تومان دستگاه پزشکی سرمایه‌ای (تملک دارایی) در بخش دولتی موجود بود که سالیانه حدود ۶۰ میلیارد تومان یعنی معادل ۱/۲ درصد ارزش تجهیزات، صرف هزینه‌های تعمیر و نگهداری، جایگزینی و بهبود استاندارد آن‌ها شده است. [۹] بهره‌برداری در واقع به معنای استفاده بهینه از پتانسیل تجهیزات پزشکی موجود است، به گونه‌ای که عملکرد واقعی تجهیزات پزشکی به دست آید. بنابراین، مدیران بیمارستان‌ها همواره تلاش می‌کنند تا با بهینه‌سازی استفاده از تجهیزات، بیشینه بازگشت سرمایه از سرمایه‌گذاری در تجهیزات را به دست آورند. استفاده بهینه از تجهیزات بیمارستانی علاوه بر کاهش هزینه‌های بیمارستان، منجر به رسیدگی سریع‌تر به بیمار، بهبود گردش بیمار در بیمارستان، ارتقای کیفیت مراقبت به بیمار و افزایش رضایت آنان خواهد شد. [۱۱، ۱۰] براین اساس، بهبود کارایی تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های ارائه مراقبت و به‌طور غیرمستقیم - از طریق کاهش مدت‌زمان اقامت بیمار، افزایش گردش تخت و ارتقای رضایتمندی بیمار- موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمدهای

در دهه‌های اخیر، تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان‌ها به شکل چشمگیری توسعه یافته‌اند و به تشخیص و درمان بیماران کمک فراوانی می‌کنند. با این حال، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این تجهیزات، با چالش‌های متعددی روبرو است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به بهره‌برداری پایین، تعمیرات و نگهداری نامناسب، ایجاد وقفه در برنامه‌ریزی و استفاده از تجهیزات و هزینه‌های اضافی اشاره کرد. [۱] دردسترس بودن و استفاده از تجهیزات پزشکی در سطوح مختلف، به‌ویژه در بیمارستان‌ها برای ارائه خدمات درمانی مورد نیاز بیماران، ضروری است. وجود تجهیزات تشخیصی-تصویری مناسب عامل مهمی برای ارائه مراقبت درمانی در بیمارستان‌های امروزی است و تقریباً در تمام فعالیت‌های تشخیصی، درمانی و حمایتی بیمارستان نقش دارند. [۲] تجهیزات تشخیصی-تصویری مدرن به شکل چشم‌گیری به بهبود کیفیت خدمات بهداشتی و وضعیت درمان بیماران کمک می‌کنند. علاوه بر تشخیص بهتر بیماری، این تجهیزات منجر به پیشرفت‌های چشم‌گیری در توسعه جراحی‌های غیرتهاجمی نیز شده‌اند. [۳، ۴] بهبود بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان‌ها می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش اثربخشی درمانی، کاهش تعداد و مدت بستری بیماران و ارتقای رضایت بیماران و خانواده‌های آنان شود. از این رو، توجه به بهره‌برداری مناسب از تجهیزات تشخیصی-تصویری و بهبود استفاده از آن‌ها در بیمارستان‌ها امری بسیار حیاتی است. تجهیزات پزشکی به‌طور تقریبی ۴۰ تا ۵۰ درصد از هزینه‌های تأسیس بیمارستان را شامل می‌شوند. [۵] همچنین، بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از هزینه‌های خدمات بستری در بیمارستان‌ها به هزینه‌های مربوط به عوامل سرمایه‌ای، مانند تجهیزات پزشکی، اختصاص داده می‌شود. [۶] براساس مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ در بیمارستان‌های تخصصی هند انجام شد، تجهیزات تشخیصی-تصویری به‌طور میانگین ۱۳ درصد از کل هزینه‌های بیمارستان و ۷۴ درصد از هزینه‌های سرمایه‌ای آن‌ها را تشکیل می‌دهند. [۷] این هزینه‌ها ناشی از

تجهیزات تشخیصی-تصویری، از دو نوع ضریب بهره‌برداری استفاده شد که شامل ضریب بهره‌برداری تقویمی (Calendar Utilization Coefficient) و ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت (Utilization Coefficient of Service Provision) بود. محاسبات ضرایب بهره‌برداری برگرفته از دستورالعمل روتن و همکاران [۱۴] و به شرح ذیل بود:

الف) ضریب بهره‌برداری تقویمی: این ضریب نسبت تعداد روزهای کاری را که دستگاه در دسترس بوده است به تعداد روزهای تقویمی نشان می‌دهد. این معیار معمولاً برای ارزیابی بهره‌برداری از تجهیزات در طول مدت زمان طراحی شده و استفاده می‌شود. نحوه محاسبه ضریب بهره‌برداری تقویمی به صورت زیر است:

$$K_{\text{calendar}} = \frac{t_{\text{nominal}}}{t_{\text{calendar}}} \quad \text{که در آن:}$$

K_{calendar} : ضریب بهره‌برداری تقویمی
 t_{nominal} : تعداد روزهای کاری در یک بازه زمانی معین که براساس برنامه کاری موسسه، تجهیزات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

t_{calendar} : تعداد کل روزهای تقویمی موجود در همان بازه زمانی
 ب) ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت: این ضریب نسبت تعداد ساعاتی که دستگاه در واقع برای ارائه خدمات به بیماران استفاده شده است به کل ساعات کاری بالقوه دستگاه را نشان می‌دهد. این معیار میزان استفاده واقعی از تجهیزات در ارائه خدمات را به‌طور دقیقتر نشان می‌دهد. همچنین، این معیار با توجه به تعداد و مدت زمان ارائه هر خدمت، امکان شناسایی دقیقتر نقاط ضعف و قوت در استفاده از تجهیزات و راهکارهای ارتقای آن را نشان می‌دهد. معادله ریاضی محاسبه ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت به صورت زیر بود:

$$K_{\text{service}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot T_i}{N_{\text{max}}} \quad \text{که در آن:}$$

K_{service} : ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت در یک بازه زمانی مشخص
 N_i : تعداد دفعات ارائه خدمت i ام در یک بازه زمانی مشخص
 T_i : زمان مورد نیاز برای ارائه خدمت i ام (متوسط زمان مورد نیاز برای ارائه خدمت i ام)
 N_{max} : حداکثر زمانی که دستگاه می‌توانست در یک بازه زمانی مشخص مورد استفاده قرار بگیرد؛ که می‌تواند هم به‌صورت بالقوه (تمام وقت) و هم به‌صورت بالفعل (براساس برنامه زمانی موجود دستگاه) محاسبه گردد.

بیمارستان گردد. [۱۲] با بهره‌برداری بهینه و مناسب از تجهیزات تشخیصی-تصویری می‌توان به راهبردهایی دست یافت که نه تنها به افزایش کارایی این تجهیزات و صرفه‌جویی حاصل از آن کمک کند، بلکه منجر به بهبود عملکرد بیمارستان در تشخیص و درمان به‌هنگام، کاهش میانگین مدت اقامت بیماران و افزایش رضایتمندی آنان شود. [۱۳] براساس بررسی اولیه، مطالعه‌ای در خصوص سنجش بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری اصلی و راهکارهای ارتقای آن در ایران یافت نشد. لذا، مطالعه حاضر با هدف شناسایی میزان بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری در یکی از بیمارستان‌های ایران و ارائه راهکارهایی برای ارتقای بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان‌ها اجرا شد.

روش مطالعه

مطالعه حاضر یک مطالعه کاربردی و مقطعی است که به روش ترکیبی طی دو مرحله کمی و کیفی در سال ۱۳۹۸ در یک بیمارستان تخصصی-فوق تخصصی در شهر تهران به اجرا درآمد. بیمارستان مورد بررسی در این مطالعه یک مرکز آموزشی-درمانی با ظرفیت ۶۵۰ تخت فعال در شمال تهران و با متوسط ضریب اشغال تخت ۷۵ درصد بود. جامعه مورد مطالعه شامل تمام تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان بود که از بین آن‌ها به روش نمونه‌گیری هدفمند (مبتنی بر نظر طرح و برنامه بیمارستان) مهم‌ترین تجهیزات تشخیصی-تصویری اصلی بیمارستان شامل دستگاه CT آنژیوگرافی (CTA)، دستگاه سونوگرافی (Sonography) و دستگاه تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) جهت بررسی انتخاب شدند. تمامی دستگاه‌های مذکور در بخش بستری (داخل بیمارستان) و بخش سرپایی (داخل درمانگاه) شامل یک دستگاه CTA، سه دستگاه سونوگرافی و دو دستگاه MRI بود که عملکرد تمام آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله اول این مطالعه میزان بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری فوق، در بازه زمانی اول فروردین ماه ۱۳۹۷ تا پایان اسفندماه ۱۳۹۷ استخراج و بررسی شد. در این مطالعه، برای سنجش میزان بهره‌برداری از

مطالعه، مهم‌ترین موانع و راهکارهای بهبود بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری از طریق روش کیفی با تشکیل گروه‌های بحث متمرکز با مشارکت ۱۵ نفر از خبرگان موضوعی شامل سوپروایزر بخش‌های تشخیصی-تصویری، کارشناسان تصویربرداری، کارشناسان تجهیزات پزشکی و با حضور یک پزشک متخصص رادیولوژی و با هدایت اعضای تیم پژوهش و به روش تحلیل محتوی احصا گردید. بحث‌ها با رعایت اصول اخلاقی، شفافیت و احترام به نظرات همه اعضا انجام شد. اعضای گروه، شامل کارشناسان تصویربرداری، متخصصان پزشکی، مدیران بیمارستان و نمایندگان از بخش‌های مختلف بود. انتخاب اعضا به شیوه هدفمند براساس تخصص‌های مرتبط با موضوع تحقیق و با سطح تحصیلات کارشناسی و بالاتر و داشتن حداقل یکسال تجربه مدیریت در سطح میانی بیمارستان بود. گفتگوها توسط یک دانشیار رشته اقتصاد سلامت اداره و سازماندهی می‌شد. در این جلسات از مشارکت کنندگان درخواست شد تا مهم‌ترین موانعی که موجب شده و یا می‌شود که تجهیزات زیرنظر و مورد استفاده آن‌ها با پتانسیل کامل ارائه خدمت ننمایند را بیان نموده و راهکارهای لازم برای ارتقای بهره‌برداری از تجهیزات را ارائه نمایند. با توجه به احتمال طولانی شدن زمان جلسات و زمان محدود افراد شرکت کننده و برای جلوگیری از اختلال در فرایند ارائه خدمت به بیماران، جلسات بحث متمرکز به صورت شش جلسه ۴۰ دقیقه‌ای در پایان هر شیفت کاری تنظیم شد. این جلسات با ایجاد فضایی آرام و مناسب برای بحث توسط مدیریت جلسه (دانشیار رشته اقتصاد سلامت) مدیریت شد. ثبت دقیق نتایج و نکات مهم و موافقت‌ها به صورت کتبی در حین جلسه توسط دبیر جلسه (استادیار اقتصاد سلامت) انجام شد و علل اصلی افت بهره‌برداری از تجهیزات و راهکارهای ارتقای آن در بیمارستان به روش تحلیل محتوا استخراج شدند.

بنا آیت‌الله

ضریب بهره‌برداری تقویمی از تجهیزات تشخیصی-تصویری در شش ماه اول و دوم سال ۱۳۹۷ در جدول ۱ ارائه شده است.

در ادامه، بهره‌برداری ازدست‌رفته (Lost Utilization) تجهیزات تشخیصی-تصویری با استفاده از معادله زیر محاسبه و گزارش شد.

$$Lu = 1 - K_{\text{service}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot T_i}{N_{\text{max}}}$$

بهره‌برداری ازدست‌رفته تجهیزات نشان می‌دهد که چه میزان از ظرفیت تجهیزات در واقع برای ارائه خدمات به بیماران استفاده نشده است. با استفاده از این اندازه‌گیری، می‌توان مناطقی را که در آن‌ها امکان بهبود بهره‌برداری از تجهیزات و بهینه‌سازی تخصیص منابع وجود دارد، شناسایی کرد. محدوده‌ی بهره‌برداری ازدست‌رفته (LU) نیز مانند ضرایب بهره‌برداری در بازه‌ی بین صفر تا یک قرار دارد. مقدار صفر نشان‌دهنده‌ی عدم بهره‌برداری ازدست‌رفته است، به این معنی که تجهیزات به‌طور کامل بهره‌برداری شده‌اند؛ و بالعکس، مقدار یک نشان‌دهنده‌ی بهره‌برداری ازدست‌رفته کامل است؛ به معنی عدم استفاده از تجهیزات برای ارائه خدمات به بیماران. اطلاعات لازم جهت محاسبه ضریب بهره‌برداری برای هر یک از تجهیزات تشخیصی-تصویری، شامل تعداد روزها و ساعات فعالیت هر دستگاه، تعداد و نوع خدمات ارائه شده توسط هر دستگاه در بازه زمانی مورد مطالعه از طریق اطلاعات ثبتی عملکرد دستگاه در سامانه اطلاعات بیمارستان (HIS) جمع‌آوری گردید. همچنین، زمان لازم برای ارائه هر خدمت (T_i) در دو حالت کمترین و بیشترین وقفه از طریق نظرسنجی از کاربران هر دستگاه جمع‌آوری گردید و متوسط زمان مورد نیاز برای ارائه هر خدمت به صورت میانگین ریاضی محاسبه شد. به منظور جمع‌آوری داده‌ها در مرحله اول از فرم گردآوری داده استفاده شد که اقلام (آیتم‌های) آن براساس مطالعات پیشین تنظیم شد. [۲، ۱۳] این آیتم‌ها شامل نام دستگاه، محل استقرار دستگاه، برنامه زمانی کارکرد دستگاه، تعداد روزهای ارائه خدمت در سال و تعداد دفعات و نام خدمات تشخیصی-تصویری ارائه شده از طریق هر دستگاه بود. پس از جمع‌آوری داده‌ها، ضریب بهره‌برداری برای هر یک از تجهیزات تشخیصی-تصویری به‌طور جداگانه و با استفاده از نرم افزار Stata 14 محاسبه شد. در مرحله دوم این

جدول ۱: ضریب بهره‌برداری تقویمی از تجهیزات تشخیصی -

تصویری اصلی در بیمارستان مورد مطالعه

دستگاه	ضریب بهره‌برداری تقویمی (Kcal)	
	۶ ماهه اول (۱۳۹۷ درصد)	۶ ماهه دوم (۱۳۹۷ درصد)
MRI بستری	۹۸/۴	۹۹/۲
MRI بخش سرپایی	۹۸/۹	۹۱/۶
سونوگرافی بستری	۱۰۰	۹۹/۷
سونوگرافی بخش سرپایی	۸۸/۸	۸۰/۷
سونوگرافی مداخله‌ای	۸۱	۷۷/۳
CT آنژیوگرافی	۸۶	۸۳/۶
میانگین	۹۲/۴	۸۸/۷
انحراف معیار	۵/۷	۷/۸

بر اساس جدول یک، میانگین ضریب بهره‌برداری تقویمی از تجهیزات ۸۸/۷ درصد بود که نشان می‌دهد طبق برنامه کاری موجود به طور متوسط در ۱۱/۳ درصد از روزهای سال از تجهیزات تشخیصی-تصویری استفاده نمی‌شود. دستگاه سونوگرافی مداخله‌ای در بین تجهیزات مورد بررسی کمترین میانگین ضریب بهره‌برداری تقویمی (۷۷ درصد) را داشت و به طور متوسط در ۲۳ درصد از روزهای سال مورد استفاده قرار نمی‌گرفت. جدول دو ضریب بهره‌برداری در ارائه مراقبت را برای هر یک از تجهیزات تشخیصی-تصویری اصلی در سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد.

جدول ۲: ضریب بهره‌برداری در ارائه مراقبت و بهره‌برداری از دست‌رفته تجهیزات تشخیصی-تصویری

نام تجهیزات	حداکثر کارکرد* (N _{max})	ضریب بهره‌برداری در ارائه مراقبت (K _{service})	بهره‌برداری از دست‌رفته (LU)
MRI بستری	کارکرد بالفعل (۱۳ ساعت × ۲۸۴ روز)	۰/۸۶۴	۰/۱۳۶
	کارکرد بالقوه (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۴۵۹	۰/۵۴۱
MRI بخش سرپایی	کارکرد بالفعل (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۸۴۳	۰/۱۵۷
	کارکرد بالقوه (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۸۴۳	۰/۱۵۷
سونوگرافی مداخله‌ای	کارکرد بالفعل (۱۲ ساعت × ۲۸۵ روز)	۰/۷۴۳	۰/۲۵۷
	کارکرد بالقوه (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۳۳۴	۰/۶۶۶
سونوگرافی بستری	کارکرد بالفعل (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۸۰۶	۰/۱۹۴
	کارکرد بالقوه (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۸۰۶	۰/۱۹۴
سونوگرافی بخش سرپایی	کارکرد بالفعل (۱۲ ساعت × ۳۸۰ روز)	۰/۸۵۵	۰/۱۴۵
	کارکرد بالقوه (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۴۰۶	۰/۵۹۴
CT آنژیوگرافی	کارکرد بالفعل (۱۲ ساعت × ۲۹۴ روز)	۰/۵۵۴	۰/۴۴۶
	کارکرد بالقوه (۲۱ ساعت × ۳۶۵ روز)	۰/۲۵۵	۰/۷۴۵

*: حداکثر کارکرد دستگاه در دو حالت بالقوه (تمام وقت) و هم بالفعل (بر اساس برنامه زمانی موجود دستگاه) در نظر گرفته شد. در حالت بالقوه دستگاه می‌تواند در ۳۶۵ روز سال و در هر شبانه روز ۲۱ ساعت (با لحاظ ۳ ساعت وقفه تعویض شیفت و استراحت دستگاه) مورد استفاده قرار گیرد اما حالت بالفعل مبتنی بر برنامه زمانی موسسه برای هر دستگاه متفاوت خواهد بود. به طور مثال، طبق برنامه بیمارستان دستگاه CT آنژیو در روزهای غیر تعطیل (معادل ۲۹۴ روز) فقط از ۶ صبح تا ۶ عصر (۱۲ ساعت) در دسترس است (۲۹۴ × ۱۲).

MRI بستری ۰/۵۴۱ (معادل ۵۴/۱ درصد) بود که با افزایش ساعت کار دستگاه به حالت تمام وقت به سطح ۱۳/۶ درصد قابل تقلیل بود. ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت برای دستگاه MRI بخش سرپایی ۰/۸۴۳ (معادل ۸۴/۳ درصد)

بر اساس جدول دو، ضریب بهره‌برداری در ارائه مراقبت برای دستگاه MRI بستری ۰/۴۵۹ (معادل ۴۵/۹ درصد) بود که با افزایش ساعت کار دستگاه به حالت تمام وقت تا سطح ۸۶/۴ درصد قابل ارتقا بود. بهره‌برداری از دست‌رفته دستگاه

جدول ۳: ویژگی‌های جمعیت‌شناختی خبرگان شرکت کننده در مرحله دوم مطالعه

فرآوانی (درصد) (فرآوانی)	ویژگی	
	۹(۶۰)	مرد
۶(۴۰)	زن	
۳(۲۰)	دکتری و بالاتر	میزان تحصیلات
۵(۳۳/۳)	فوق لیسانس	
۷(۴۶/۷)	لیسانس	
۳(۲۰)	اقتصاد سلامت	رشته تحصیلی
۳(۲۰)	مدیریت خدمات بهداشتی-درمانی	
۳(۲۰)	رادیولوژی	
۳(۲۰)	پرستاری	
۳(۲۰)	سایر	
۳(۲۰)	هیات علمی	عضویت*
۱۲(۸۰)	غیر هیات علمی	

بر اساس جدول سه، بیشتر خبرگان شرکت کننده در مرحله دوم آقایان (۶۰ درصد) بودند و اکثر آنان دارای سطح تحصیلات کارشناسی بودند. علل افت بهره‌برداری در ارائه خدمت و راهکارهای ارتقای آن در تجهیزات تشخیصی-تصویری بیمارستانی در جدول چهار ارائه شده‌اند. بر اساس جدول چهار، علل اصلی مشترک افت بهره‌برداری از دستگاه‌های تشخیصی-تصویری بیمارستان شامل ضعف نظام تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، فضای نامناسب بخش، تاخیر در جابه‌جایی بیماران از بخش بستری (مدیریت جابه‌جایی بیمار) و کمبود نیروی انسانی بود. در این زمینه راهکارهایی از جمله تقویت نظام مدیریت تعمیر و نگهداری پیشگیرانه تجهیزات، بازمهندسی فضای کاری بخش، بهبود مدیریت زمان انتقال بیمار و افزایش متناسب نیروی انسانی متخصص از جمله مهم‌ترین راهکارهای ارائه شده برای بهبود بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری بیمارستان بودند.

جدول ۴: علل اصلی افت بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری و راهکارهای ارتقای آن در بیمارستان مورد مطالعه

علل افت بهره‌برداری از دستگاه MRI	راهکارهای ارتقای بهره‌برداری از دستگاه MRI
۱. ضعف نظام تعمیر و نگهداری پیشگیرانه (عدم تعویض به موقع فیلتر کمپرسور، عدم تعویض به موقع نرم افزار دستگاه)	✓ تقویت نظام مدیریت تعمیر و نگهداری پیشگیرانه تجهیزات ✓ بازمهندسی فضای کاری بخش MRI بستری
۲. فضای نامناسب بخش (نبود سرویس بهداشتی بیماران در داخل بخش)	الکترونیکی نمودن فرایند پذیرش و ارائه گزارش MRI جذب متخصص مقیم و فوق لیسانس MRI
۳. زمان نبودن فرایند دستی پذیرش و ارائه گزارش MRI	
۴. کمبود نیروی انسانی تخصصی و فوق تخصصی (متخصص و فوق لیسانس MRI) برای ارتقای سطح گزارش‌های رادیولوژی	

بود که با توجه به تمام وقت بودن کار دستگاه قابل ارتقا نبود. بهره‌برداری از دست‌رفته دستگاه MRI بخش سرپایی ۰/۱۵۷ (معادل ۱۵/۷ درصد) بود که مرتبط با کمبود بهره‌برداری در ارائه مراقبت بود.

ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت برای دستگاه سونوگرافی مداخله‌ای ۰/۳۳۴ (معادل ۳۳/۴ درصد) بود که با افزایش ساعت کار دستگاه تا سطح ۷۴/۳ درصد قابل ارتقا بود. بهره‌برداری از دست‌رفته دستگاه سونوگرافی مداخله‌ای ۰/۶۶۶ (معادل ۶۶/۶ درصد) بود که با افزایش ساعت کار دستگاه به حالت تمام وقت به سطح ۲۵/۷ درصد قابل تقلیل بود. ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت برای دستگاه سونوگرافی بخش بستری بیمارستان ۰/۸۰۶ (معادل ۸۰/۶ درصد) بود که با توجه به تمام وقت بودن کار دستگاه قابل ارتقا نبود. بهره‌برداری از دست‌رفته دستگاه سونوگرافی بخش بستری بیمارستان ۰/۱۹۴ (معادل ۱۹/۴ درصد) بود. همچنین، ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت برای دستگاه سونوگرافی بخش سرپایی ۰/۴۰۶ (معادل ۴۰/۶ درصد) بود که با افزایش ساعت کار دستگاه تا سطح ۸۵/۵ درصد قابل ارتقا بود. ضریب بهره‌برداری در ارائه خدمت برای دستگاه CT آرتیوگرافی ۰/۲۵۵ (معادل ۲۵/۵ درصد) بود که با افزایش ساعت کار دستگاه تا ۵۵/۴ درصد قابل ارتقا بود و مابقی آن (۴۴/۶ درصد) مرتبط با کمبود بهره‌برداری در ارائه مراقبت بود. در ادامه مهم‌ترین موانع و راهکارهای بهبود بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری از طریق روش کیفی با تشکیل گروه‌های بحث متمرکز احصا گردید که مشخصات خبرگان شرکت کننده در مرحله دوم پژوهش به شرح جدول سه است.

جدول ۴: ادامه

راهکارهای ارتقای بهره‌برداری از دستگاه سونوگرافی	علل افت بهره‌برداری از دستگاه سونوگرافی
✓ بهبود مدیریت تعمیر و نگهداری دستگاهها	۱ آموزش بودن بخش (لزوم چک کردن کار رزیدنت با اساتید)
✓ ریشه‌یابی و حل مشکل تاخیر در انتقال بیماران	۲ ضعف در تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و سرویس دوره‌ای (۱ ماه به دلیل سوختن پروب خواب داشته است)
✓ بهبود کیفیت انتقال بیماران	۳ تاخیر در جابه‌جایی بیماران از بخش بستری به بخش سونوگرافی (تأخیر در انتقال بیمار)
✓ بازمهندسی فضای کاری بخش اکو کاردیوگرافی	۴ عدم کیفیت جابه‌جایی بیمار (عدم انجام وظایف مرتبط با انتقال بیمار شامل تعویض ملحفه و جابه‌جایی بیمار)
✓ برنامه‌ریزی زمانی برای حضور به‌موقع پزشکان در بخش	۵ عدم تطابق جنسیتی در انتقال بیمار (استفاده از کمک بهیار مرد برای انتقال بیمار زن و برعکس)
✓ رعایت طرح انطباق جنسیتی در انتقال بیمار	۶ کمبود پرسنل بخش و تعدد وظایف (پذیرش بیمار، تایپ نتایج سونوگرافی، هماهنگی ورود و خروج بیمار، نوبت‌دهی تلفنی و کنترل دستورات پزشکی توسط یک پرسنل انجام می‌شود)
✓ استفاده شبانه‌روزی (۲۴ ساعته) از دستگاه سونوگرافی سرپایی	۷ حضور نامنظم و با تاخیر متخصصین به دلیل تداخل کارهای آموزشی (کلاس آموزشی) و درمان سرپایی (حضور عملاً از ساعت ۹ تا ۱۵)
✓ استفاده از پرونده الکترونیک سلامت برای مشاهده تاریخچه درمانی بیماران جهت تسریع در مشاوره	۸ طراحی نامناسب فضای بخش (سرویس بهداشتی، سالن انتظار، تفکیک فضای بیماران بستری و سرپایی)
✓ اضافه شدن دستگاه جدید برای سونوگرافی بیماران اورژانس	۹ کمبود پزشک فوق تخصص رادیولوژی مداخله‌ای
✓ اضافه شدن نیروی انسانی به‌عنوان دستیار پزشک	
✓ اضافه شدن پزشک فوق تخصص رادیولوژی مداخله‌ای	
راهکارهای ارتقای بهره‌برداری از دستگاه CT آنژیوگرافی	علل افت بهره‌برداری از دستگاه CT آنژیوگرافی
✓ طراحی مجدد فضای بخش از نظر جداسازی پذیرش و آماده سازی بیمار	۱ جدید التاسیس بودن سایت این دستگاه در بیمارستان (در سال ۹۶ و ۹۷)
✓ افزایش تخت ریکاوری و فضای لازم برای آماده‌سازی بیمار	۲ کمبود فضای بخش برای ارائه خدمات CT آنژیوگرافی (چند استفاده از یک فضا)
✓ ایجاد سیستم پایش منظم سرویس دوره‌ای تعمیر و نگهداری تجهیزات	۳ نامناسب بودن طراحی بخش برای آماده‌سازی بیماران (کمبود فضا و تخت‌های آماده‌سازی و ریکاوری بیمار)
✓ افزایش نیروی انسانی (حداقل یک نفر پذیرش)	۴ عدم وجود تعمیر و نگهداری دوره‌ای و خطاهای مکرر دستگاه
✓ ریشه‌یابی و حل مشکل تاخیر در انتقال بیماران	۵ تاخیر در انتقال بیماران از بخش‌های بستری به بخش CT آنژیو
	۶ کمبود نیروی انسانی پذیرش و تعدد وظایف (تایپ نتایج و پذیرش توسط یک پرسنل)
	۷ زمانبر بودن آماده‌سازی بیمار از لحاظ شرایط جسمی، فیزیولوژیک و روحی برای دریافت خدمت (پایداری ضربان قلب بیمار)

تایپ نتایج، هم پذیرش و هم آماده‌سازی بیمار را بر عهده دارد) و نامناسب بودن طراحی بخش برای آماده‌سازی بیماران (آماده‌سازی و ریکاوری بیماران بر روی تخت ارائه خدمت) بود. در مطالعه‌ی مشابهی که توسط کومار [۱۵] بر روی بهره‌برداری از تجهیزات CT اسکن یک بیمارستان فوق تخصصی در هند انجام شد، ضریب بهره‌برداری برای تعیین درصد بهره‌برداری از دستگاه CT اسکن معادل ۵۰ درصد بود و تجهیزات CT اسکن به‌طور متوسط تنها با ۵۰ درصد از پتانسیل کامل مورد استفاده قرار می‌گرفت. مطالعه مشابه دیگری که توسط گیو و همکاران [۱۶] در کنیا انجام شد، نشان داد عوامل اصلی تعیین‌کننده استفاده از تجهیزات پزشکی در

مطابق یافته‌های مطالعات حاضر، در بین تجهیزات مورد بررسی کمترین ضریب بهره‌برداری به ترتیب مربوط به دستگاه CT آنژیوگرافی با ۲۵ درصد بهره‌برداری (معادل ۷۵ درصد بهره‌برداری از دست‌رفته) و دستگاه سونوگرافی مداخله‌ای با ۳۳ درصد بهره‌برداری (معادل ۶۷ درصد بهره‌برداری از دست‌رفته) بود. لازم به ذکر است بهره‌برداری از دست‌رفته این تجهیزات مربوط به عواملی نظیر کمبود نیروی انسانی فوق تخصصی برای اجرای کار مستمر با این تجهیزات، زمان‌بر بودن آماده‌سازی بیمار برای انجام این مداخلات، کمبود نیروی انسانی کمک پزشک (یک نفر هم

بیمارستان‌های کنیا شامل توسعه ظرفیت منابع انسانی، سیاست مدیریت تجهیزات پزشکی، سیاست خرید تجهیزات پزشکی و پایبندی به منشور خدمات است. در این مطالعه، ایجاد انگیزه در کارکنان از طریق پرداخت مناسب و به موقع مبتنی بر عملکرد و مشارکت دادن کارکنان در خرید تجهیزات پزشکی به عنوان راهکارهای ارتقای بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری توصیه شده است. در بین تجهیزات مورد بررسی، بیشترین ضریب بهره‌برداری به ترتیب مربوط به دستگاه‌های MRI بخش سرپایی بیمارستان (۸۴/۳ درصد) و دستگاه سونوگرافی بخش بستری بیمارستان (۸۰/۶ درصد) بود و بهره‌برداری از دست‌رفته در این دستگاه‌ها کمتر از ۲۰ درصد بود. لازم به ذکر است تجهیزات دستگاه‌های سونوگرافی بخش بستری بیمارستان و MRI بخش سرپایی به صورت تمام وقت (۳۶۵ روز سال به صورت ۲۴ ساعته) مورد استفاده قرار می‌گرفتند و لذا بهره‌برداری از دست‌رفته‌ی این دستگاه‌ها مربوط به عواملی نظیر خراب شدن و خارج از سرویس بودن دستگاه در برخی از روزها، تاخیر در جابه‌جایی بیمار از بخش‌های بستری، فضای فیزیکی نامناسب بخش تشخیصی-تصویری و حضور نامنظم و با تاخیر متخصصین بود. مطالعه چادھاری و همکاران [۱۰] در هند نشان می‌دهد به‌طور متوسط ۲۳ درصد از این تجهیزات تشخیصی-تصویری در هند به دلایل مختلف به اندازه کافی مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرند. مهم‌ترین این دلایل شامل فرسودگی تجهیزات، خرابی، مقرون به صرفه نبودن تعمیرات، دردسترس نبودن نیروی انسانی آموزش دیده، دردسترس نبودن مواد مصرفی و یدکی، تأخیر در تعمیر و نگهداری، ساعات کاری محدود و محدودیت دردسترس بودن دستگاه بود. به طور مشابه مطالعه تسفای و همکاران [۱۲] در کشور اتیوپی نشان می‌دهد مهم‌ترین علل بهره‌برداری از دست‌رفته تجهیزات تشخیصی-تصویری شامل خرابی تجهیزات، دردسترس نبودن کارکنان آموزش دیده برای بهره‌برداری از تجهیزات، عدم انجام تعمیرات پیشگیرانه، دردسترس نبودن قطعات یدکی و عدم دسترسی به لوازم جانبی برای استفاده از تجهیزات پزشکی بوده است. همچنین، یافته‌های مطالعه

حاضر نشان داد ضریب بهره‌برداری برای دستگاه سونوگرافی بخش سرپایی ۴۰ درصد (معادل ۶۰ درصد بهره‌برداری از دست‌رفته) و برای دستگاه MRI بخش بستری ۴۵ درصد (معادل ۵۵ درصد بهره‌برداری از دست‌رفته) بود. لازم به ذکر است علت اصلی افت بهره‌برداری از این دستگاه‌ها مربوط به ساعت کاری بخش مذکور بوده و با افزایش ساعت کاری، بهره‌برداری از هر دو دستگاه تا سطح ۸۵ درصد قابل ارتقا است و مابقی آن (۱۵ درصد) مربوط به عواملی مانند تاخیر در جابه‌جایی بیمار از بخش‌ها، کمبود نیروی انسانی کمک-پزشک و خرابی دستگاه در برخی از روزها بوده است. وی و همکاران [۱۱] در مطالعه‌ای میزان بهره‌برداری از تجهیزات تصویربرداری پزشکی شامل دستگاه CT اسکن و MRI را در ۱۳۱ بیمارستان چین طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند. نرخ استفاده از CT و MRI به ترتیب ۶/۷۸ و ۱/۸۷ درصد بود که نشان می‌داد به طور متوسط به ازای هر ۱۰۰ پذیرش سرپایی و اورژانسی ۶/۷ بار CT اسکن و ۱/۸ بار MRI انجام می‌شود. در این مطالعه، ارتباط آماری معناداری بین تعداد اعمال جراحی و بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری بیمارستان اشاره شده است. براین اساس، به نظر می‌رسد افزایش پذیرش‌های بستری، افزایش چرخش تخت و ضریب اشغال تخت‌های بیمارستان همزمان با افزایش ساعت کاری بخش‌های تشخیصی-تصویری به بهبود بهره‌برداری از تجهیزات مذکور کمک خواهد کرد. میزان بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری در مطالعات مختلف بسته به عوامل متعددی مانند نوع تجهیزات، نوع بیمارستان، موقعیت جغرافیایی و جمعیت بیمار (بیماردهی جامعه) به طور قابل توجهی متفاوت است. مطالعات انجام شده طیف وسیعی از ضرایب بهره‌برداری از تجهیزات پزشکی مختلف را گزارش کرده‌اند که از نرخ استفاده بالا در حدود ۸۰ درصد تا نرخ استفاده پایین کمتر از ۵۰ درصد متغیر است. [۱۰-۱۳] برآورد ضریب بهره‌برداری تجهیزات پزشکی در کشور اتیوپی نشان می‌دهد که میانگین ضریب بهره‌برداری تجهیزات پزشکی در این کشور ۰/۴۹ (با فاصله اطمینان ۹۵ درصد در بازه ۰/۵۵-۰/۴۴) است. [۱۲] مطالعه لسوال و

(MRI) و تجهیزات رادیولوژی مداخله‌ای، ممکن است به دلیل استفاده‌های خاص و نیاز به پرسنل آموزش‌دیده‌تر، ضریب بهره‌برداری کمتری داشته باشند. [۱۲] مطالعه حاضر شواهد علمی درخصوص میزان بهره‌برداری از تجهیزات پزشکی ارائه می‌کند. از آنجا که تجهیزات کلان بیمارستان از سرمایه‌های اصلی این سازمان محسوب می‌گردد لذا مطالعه و محاسبه ضریب بهره‌برداری این تجهیزات در بیمارستان‌ها می‌تواند از اتلاف سرمایه‌ها جلوگیری کرده و از طرفی به توزیع مناسب تجهیزات کمک شایانی نماید. باین حال، مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی است که باید در تفسیر و استفاده از نتایج مدنظر قرار گیرند. اول، این مطالعه بر روی داده‌های یک مقطع زمانی خاص (سال ۱۳۹۷) انجام شده است. با توجه به شیوع بیماری کوید-۱۹ در انتهای سال ۱۳۹۸، ممکن است بهره‌برداری برخی از تجهیزات تحت تأثیر مثبت یا منفی از پاندمی کوید-۱۹ قرار گرفته باشد که نیازمند مطالعات آتی است. دوم، این مطالعه در یک محدوده جغرافیایی خاص (یک بیمارستان فوق تخصصی آموزشی در شهر تهران) انجام شده و نماینده قطعی از کل تجهیزات تشخیصی-تصویری موجود در کشور نیست. سوم، فقدان گزارش‌هایی از وضعیت بهره‌برداری تجهیزات پزشکی در سطح کشور ایران محدودیت‌هایی را در زمینه مقایسه وضعیت بهره‌برداری از تجهیزات تصویربرداری تشخیصی ایجاد نموده بود. توصیه می‌شود که مطالعات بیشتری به بررسی و مقایسه ضریب بهره‌برداری از تجهیزات اصلی پزشکی در بیمارستان‌های مختلف (دولتی و خصوصی) پردازند تا دلایل احتمالی افت بهره‌برداری از تجهیزات شناسایی و بررسی گردد. یافته‌های مطالعه بر اهمیت بهبود بهره‌برداری از تجهیزات تشخیصی-تصویری در بیمارستان‌ها تاکید می‌کند. با پرداختن به عوامل شناسایی‌شده در این مطالعه می‌توان بازدهی ارائه خدمات تشخیصی-تصویری را افزایش داد تا ضمن کاهش هزینه‌ها با کاهش مدت زمان انتظار بیماران و مدت اقامت آنان، کیفیت مراقبت و رضایتمندی آنان را بهبود بخشید. سرمایه‌گذاری‌های استراتژیک در سیستم‌های تعمیر و نگهداری، تخصیص منابع

بترجیحی [۱۷] در بیمارستان منطقه‌ای هاریانا هند نشان داد، استفاده واقعی از ظرفیت تجهیزات در دسترس فقط ۳۹/۳ درصد بود. همچنین، ۳۵/۵ درصد از تجهیزات یا غیرقابل استفاده بودند یا استفاده نمی‌شدند و به‌عنوان ذخایر نگهداری می‌شدند. در مطالعه چادهاری و کائل [۵] در بیمارستان‌های سطح ۳ (تخصصی و فوق تخصصی) در یکی از مناطق هند، نشان داده شد که ضریب بهره‌برداری از تجهیزات بیمارستانی براساس قیمت تجهیزات در سه گروه تجهیزات گران قیمت، قیمت متوسط و ارزان قیمت به ترتیب معادل ۵۸/۱، ۶۲/۱ و ۶۰/۴ درصد بود. اگرچه طیف مشخصی برای تقسیم‌بندی سطوح ضریب بهره‌برداری تجهیزات پزشکی (UC) ارائه نشده است ولی مرور مطالعات نشان می‌دهد نرخ بهره‌برداری زیر ۵۰ درصد (معادل بهره‌برداری ازدست‌رفته بالای ۵۰ درصد) را می‌توان به‌عنوان بهره‌برداری کم و همچنین، بهره‌برداری بالای ۸۰ درصد (معادل بهره‌برداری ازدست‌رفته زیر ۲۰ درصد) را به‌عنوان بهره‌برداری مناسب یا خوب در نظر گرفت. به‌عنوان نمونه، مطالعه تسفای و همکاران [۱۲] در مورد ضریب بهره‌برداری تجهیزات پزشکی در کشور اتیوپی بیان کرده است از ۱۹۲ دستگاه موردبررسی ۱۱۱ دستگاه (معادل ۵۷/۸ درصد) به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گرفته‌اند ($UC \geq 0/5$)، در حالی که ۸۱ دستگاه (۴۲/۲ درصد) فاقد بهره‌برداری مناسب بودند ($UC < 0/5$). مطالعه چادهاری و کائل [۱۰] در یک بیمارستان تخصصی در هند در سال ۲۰۱۵ نشان داد که ۹۶ درصد از تجهیزات در نقطه‌ای کمتر از ظرفیت کامل بهره‌برداری خود قرار داشتند به‌طوری که ۹۶ درصد از تجهیزات ضریب بهره‌برداری از (UC) کمتر از ۱۰۰ درصد داشتند و حتی ۲۳ درصد از تجهیزات تشخیصی بیمارستانی از بهره‌برداری کمتر از ۵۰ درصد برخوردار بودند. مرور مطالعات نشان می‌دهد نرخ بهره‌برداری بالاتر اغلب در تجهیزاتی مشاهده می‌شود که برای روش‌های معمول تشخیصی ضروری هستند، مانند دستگاه‌های اشعه ایکس، دستگاه‌های اولتراسوند و اسکنرهای توموگرافی کامپیوتری (CT) درحالی که تجهیزات تصویربرداری تخصصی یا پیشرفته، مانند دستگاه‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی

شده است. حامی مالی هماهنگی‌های لازم برای دسترسی به داده‌ها را انجام داد و هیچگونه مشارکتی در تحلیل داده و نگارش مقاله نداشت.

مشارکت نویسندگان: محمد مسکرپور امیری: مفهوم‌سازی، طراحی مطالعه، سرپرستی مطالعه، گردآوری داده، تحلیل داده؛ سید مرتضی حسینی شکوه: مفهوم‌سازی، طراحی مطالعه، سرپرستی مطالعه، گردآوری داده؛ سمانه وحیدی فر: گردآوری داده، تحلیل داده؛ نورالدین دوپیکر: مفهوم‌سازی، طراحی مطالعه، گردآوری داده؛ یعقوب یوسفی: گردآوری داده، نگارش-پیش نویس؛ زهرا معتقد: گردآوری داده، نگارش-پیش نویس. تمام نویسندگان متن نهایی مقاله را مطالعه و تایید کردند.
رضایت برای انتشار: مورد ندارد.

دسترسی به داده‌ها: دسترسی به داده‌های پژوهش با اخذ موافقت از بیمارستان مورد مطالعه با ارسال ایمیل به نویسنده مسئول قابل دسترس می باشد.

استفاده از هوش مصنوعی: در فرایند اجرای این مطالعه و نوشتن مقاله فارسی از ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نشد. برای ویرایش زبانی چکیده‌های انگلیسی از bearly.AI استفاده شد و محتوای ترجمه مورد بررسی و تایید نویسندگان قرار گرفت.

تقدیر و تشکر: از حمایت مالی، راهنمایی‌ها و مشاوره‌های واحد توسعه تحقیقات بالینی بیمارستان بقیه... (عج) تشکر می گردد.

انسانی کافی و افزایش انگیزه نیروی انسانی، طراحی مجدد بخش‌های تشخیصی-تصویری و بهینه‌سازی گردش بیمار در این بخش‌ها ملاحظات کلیدی برای دستیابی به استفاده بهینه و به‌حداکثر رساندن مزایای فناوری‌های گران‌بهای تشخیصی-تصویری در بیمارستان‌ها هستند. همچنین، لزوم مداخلات مدیریتی برای بهبود مدیریت زمان در زنجیره انتقال و آماده‌سازی بیمار و استفاده متناسب و کافی از نیروی انسانی خدماتی در کنار نیروی انسانی تخصصی می‌تواند راهکار موثری برای افزایش راندمان ارائه مراقبت باشد. تلاش‌ها باید بر روی ساده‌سازی انتقال بیمار بین بخش‌ها برای کاهش تأخیر و تضمین گردش روان بیمار در بخش و به‌حداقل-رساندن وقفه‌های خدمات با بهینه‌سازی فضای کاری فیزیکی بخش‌ها و تناسب نیروی انسانی با حجم بیمار متمرکز گردد.

ملاحظات اخلاقی

رعایت دستورالعمل‌های اخلاقی: این پژوهش با رعایت کامل اصول اخلاق در پژوهش انجام شد. طرح‌نامه پژوهش با کد IR.BMSU.REC.1398.091 مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیستی دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) قرار گرفته است. تمامی اطلاعات حاصل از پژوهش به‌صورت محرمانه و محفوظ مورد استفاده قرار گرفت و اصول اخلاقی مربوطه در این پژوهش رعایت شد.
حمایت مالی: این پژوهش با حمایت مالی واحد توسعه تحقیقات بالینی بیمارستان بقیه... (عج)، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران با شماره ۱۳۹۸۰۹۱ انجام

References

- Hinrichs-Krapels S, Ditewig B, Boulding H, Chalkidou A, Erskine J, Shokrane F. Purchasing high-cost medical devices and equipment in hospitals: a systematic review. *BMJ Open*. 2022;12(9):e057516. doi: 10.1136/bmjopen-2021-057516.
- Zou S, Huang X, Li Y, Huang Q, Fang H. The characteristics and management of medical equipment clinical trials in hospitals. *Zhongguo Yi Liao Qi Xie Za Zhi*. 2015;39(2):146-8. [In Chinese] PMID: 26204750. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26204750/>.
- Free C, Phillips G, Watson L, Galli L, Felix L, Edwards P, et al. The effectiveness of mobile-health technologies to improve health care service delivery processes: a systematic review and meta-analysis. *PLoS Med*. 2013;10(1):e1001363. doi: 10.1371/journal.pmed.1001363.
- Siebert M, Clauss LC, Carlisle M, Casteels B, De Jong P, Kreuzer M, et al. Health technology assessment for medical devices in Europe: what must be considered. *Int J Technol Assess Health Care*. 2002;18(3):733-40. doi: 10.1017/s0266462302000546.

5. Chaudhary P, Kaul P. An assessment of diagnostic equipment utilization in a tertiary healthcare setup: a key to economical patient management. *Int J Res Found Hosp Healthc Adm.* 2014;2(2):111-6. doi: 10.5005/jp-journals-10035-1024.
6. Shepard DS, Hodgkin D, Anthony Y. *Analysis of hospital costs: a manual for a manager.* Geneva: World Health Organization; 2000. Available from: <https://iris.who.int/handle/10665/42197>. Accessed July 6, 2024.
7. Chatterjee S, Levin C, Laxminarayan R. Unit cost of medical services at different hospitals in India. *PLoS One.* 2013;8(7):e69728. doi: 10.1371/journal.pone.0069728.
8. Noori Tajer M, Dabaghi F, Mohammadi R, Haghani H. A survey of maintenance and cost of medical equipment in hospitals associated with Iran University of Medical Sciences and Health Services (2000-2001). *Razi J Med Sci.* 2002;9(30):445-54. [In Persian] Available from: <https://rjms.iums.ac.ir/article-1-308-en.pdf>.
9. Nasiripour AA, Jadidi R. Designing a model of medical equipment management for Iranian hospitals, 2007. *J Arak Univ Med Sci.* 2008;11(1):97-108. [In Persian] Available from: <http://jams.arakmu.ac.ir/article-1-192-en.html1>.
10. Chaudhary P, Kaul P. Factors affecting utilization of medical diagnostic equipment: a study at a tertiary healthcare setup of Chandigarh. *Chrismed J Health Res.* 2015;2(4):316-323. doi: 10.4103/2348-3334.165741.
11. Wei Y, Yu H, Geng J, Wu B, Guo Z, He L, et al. Hospital efficiency and utilization of high-technology medical equipment: a panel data analysis. *Health Policy Technol.* 2018;7(1):65-72. doi: 10.1016/j.hlpt.2018.02.005.
12. Tesfaye Geta E, Terefa DR, Desisa AE. The efficiency of medical equipment utilization and its associated factors at public referral hospitals in East Wollega Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Med Devices (Auckl).* 2023;22(16):37-46. doi: 10.2147/MDER.S402721.
13. Gupta V, Sarode SC. Assessment of equipment utilization and maintenance schedule at a dental institution in Bengaluru, India. *World J Dent.* 2014;8(2):104-8. doi: 10.5005/jp-journals-10015-1272.
14. Roitman M, Ivanova T, Tutina L. Evaluation of the utilization of medical equipment in hospitals. *Biomed Eng.* 1968;2(1):37-40. doi: 10.1007/BF00552263.
15. Kumar NP. Utilization study of CT scan in a multi-specialty hospital. *Int J Sci Res.* 2014;3(7):1-2. doi: 10.15373/22778179/July2014/173.
16. Guyow HA, Tenambergen WM, Oluoch M. Factors affecting medical equipment utilization in health service delivery in Mandera County Referral Hospital. *IOSR J Nurs Health Sci.* 2021;10(4):13-20. doi: 10.9790/1959-1004011320.
17. Lathwal O, Banerjee A. Availability and utilization of major equipment at the District Hospital, Gurgaon. *Haryana J Acad Hosp Adm.* 2001;13(2):23-8. doi: 10.5005/jp-journals-10015-1421.