Research in Sport Medicine and Technology, Volume 22 - Issue 28 / 2024

Research in Sport Medicine and Technology

Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

Introducing And Designing A Home Fitness Machine Without Weights With Digital Adjustment

Mohammad Reza Rahimi [1] | Neda Boroushak [2*]

1. M.Sc. in Technology, School of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2. Department of sports biomechanics, Sport Science Research Institute, Tehran, Iran.

corresponding author: **Neda Boroushak, nedaboroushak@yahoo.com**

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2023/09/14
Revised: 2024/03/9
Accepted: 2024/03/9

Keywords:
Fitness, Resistance Training, Modeling

How to Cite:
Mohammad Reza Rahimi, Neda Boroushak. **Introducing And Designing A Home Fitness Machine Without Weights With Digital Adjustment**. *Research In Sport Medicine and Technology*, 2024: 22(28): 190-205.

This study focuses on the design, construction, and validation of a digital-adjustable, weight-free home fitness device for muscle training. The research adopted a mixed-methods approach, providing a comprehensive evaluation of the device's performance. Initially, existing equipment and resistance training methods were analyzed, gathering essential information for the preliminary design. Three-dimensional models and prototypes were developed using software such as Rhino Cross 6 and AutoCAD 2018. For validation, the device's resistance was tested with a digital dynamometer in eight different settings, yielding a high validity with a correlation coefficient of 0.9. The reliability of the device was also assessed across three exercises (seated leg extension, seated chest press, and seated biceps curl) with 10 kg weights, repeated five times, resulting in a reliability coefficient of 0.8. These results indicate the device's high accuracy and consistent resistance. With precise digital adjustments and the capability for varied strength exercises, this device enables users to conduct effective, high-quality workouts at home, contributing to muscle strengthening and improved fitness.

Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e:
CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

پژوهش در طب ورزشی و فناوری

شاپا چاپی: ۰۷۰۸-۲۲۵۲ شاپا الکترونیکی: ۳۹۲۵-۲۵۸۸

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

طراحی، ساخت و اعتباریابی دستگاه تناسب‌اندام خانگی بدون وزنه با تنظیم دیجیتالی

محمدرضا رحیمی[۱] | ندا بروشک[۲*]

۱. کارشناسی‌ارشد تکنولوژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران .

۲. گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: **ندا بروشک nedaboroushak@yahoo.com**

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: علمی–پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۳

ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

واژه‌های کلیدی:

تناسب‌اندام، تمرینات مقاومتی، مدل‌سازی

ارجاع:

محمدرضا رحیمی، ندا بروشک. **طراحی، ساخت و اعتباریابی دستگاه تناسب‌اندام خانگی بدون وزنه با تنظیم دیجیتالی.** *پژوهش در طب ورزشی و فناوری.* ۱۴۰۳: ۲۲(۲۸):۲۰۵-۱۹۰

چکیده

این تحقیق به طراحی، ساخت و اعتباریابی دستگاه تناسب‌اندام خانگی بدون وزنه با تنظیم دیجیتال برای تمرینات عضلانی پرداخته است. رویکرد تحقیق، ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی بوده و ارزیابی جامعی از عملکرد دستگاه ارائه می‌دهد. ابتدا تجهیزات موجود و روش‌های تمرین مقاومتی بررسی و اطلاعات لازم جهت طراحی اولیه دستگاه جمع‌آوری شد. سپس با نرم‌افزارهای Rhino 6 Cross و AutoCAD 2018 مدل‌های سه‌بعدی و نمونه‌های اولیه ساخته شدند. در مرحله اعتبارسنجی، مقاومت دستگاه با نیروسنج دیجیتال در هشت وضعیت مختلف بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده روایی بالای دستگاه با ضریب همبستگی ۰,۹ بودند. همچنین پایایی دستگاه در سه حرکت مختلف (جلو پا نشسته، پرس سینه نشسته، و جلوبازو نشسته) با وزنه ۱۰ کیلوگرم، در پنج نوبت سنجیده شد و ضریب پایایی ۰,۸ را نشان داد. این نتایج نشانگر دقت بالا و مقاومت یکنواخت دستگاه است. دستگاه طراحی‌شده، با تنظیم دیجیتال دقیق و امکان اجرای تمرینات قدرتی متنوع، به ورزشکاران امکان تمرینات مؤثر و باکیفیت در خانه را می‌دهد و نقش مؤثری در تقویت عضلات و بهبود تناسب‌اندام ایفا می‌کند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

Extended Abstract

In recent years, there has been a growing global emphasis on health and fitness, particularly in developed countries where wellness is increasingly prioritized. The fitness industry has seen significant expansion, especially in the market for home fitness equipment. Many individuals are opting for at-home workouts due to convenience, privacy, and time constraints. However, traditional fitness equipment poses challenges for home use, including its bulkiness, heaviness, and cost. These issues not only make it difficult for users to set up a proper workout environment at home, but they also negatively impact the environment due to the extensive use of non-sustainable materials like steel. In response, this study focuses on designing a digital, weight-free fitness device that is compact, portable, eco-friendly, and provides an adjustable resistance mechanism suitable for home use.

Objective of the Study

The primary objective of this project is to design, develop, and validate a digital fitness device that does not rely on traditional weights but offers effective resistance training for home users. This study aims to address key issues with existing fitness equipment, such as bulkiness, space consumption, and high production costs while incorporating eco-friendly materials and energy-efficient designs to minimize environmental impacts.

Review of Existing Fitness Equipment

To better understand the gaps in the current market, a detailed review of existing fitness equipment was conducted. The fitness equipment market can generally be divided into three main categories: cardiovascular machines (e.g., treadmills, ellipticals), resistance training equipment (e.g., free weights, machines), and accessories (e.g., resistance bands, yoga mats). Resistance training equipment, which this study focuses on, involves using equipment or body weight to provide resistance to muscle movement, helping build strength and endurance.

Most traditional resistance training equipment, such as dumbbells and barbells, rely on large, heavy metal plates to provide resistance. While effective, these devices are often expensive, difficult to transport, and take up a lot of space. Larger home gyms often use multi-functional machines, which provide resistance via weight stacks or plates but

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

require ample space and come with high costs. More advanced equipment uses motors, pneumatics, or hydraulics to offer adjustable resistance. Although these technologies allow for precise control over resistance levels, they are often complex, expensive, and still require significant space.

The growing market for compact, adjustable resistance equipment has produced items such as resistance bands or portable cable machines. However, many of these solutions lack the precision or stability of traditional weights and gym machines. Thus, there remains a clear demand for a device that offers precise, adjustable resistance without relying on heavy metal weights, which can be used effectively in limited space.

Device Design and Modeling

The design process for the digital, weight-free fitness device began with a simple concept: eliminate traditional weight stacks by replacing them with a mechanical system that adjusts torque to create resistance. The core of this system is a combination of springs and coated steel cables that can simulate the resistance typically provided by weights. This mechanism not only reduces the size and weight of the device but also makes it highly portable and suitable for home use.

Preliminary calculations were carried out to determine the torque variations required to match the resistance levels of common gym machines. These calculations helped determine the specifications of the mechanical components, including the springs, cables, and pulleys. The design was then modeled using 3D modeling software such as Rhino and AutoCAD to visualize the dimensions, layout, and ergonomics of the device. The final design aimed to ensure that the device would be compact, ergonomic, and easy to use, while also offering enough adjustability to accommodate different exercise movements.

Special attention was given to the design of the handle and grip areas to ensure comfort during use, as well as to the placement of the cables and pulleys to allow for a variety of exercise movements. The goal was to create a versatile device capable of supporting a wide range of resistance-based exercises, such as squats, chest presses, rows, and arm curls, while taking up minimal space in a home environment.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

Manufacturing Process

After finalizing the design, the manufacturing process began. The key mechanical components, including the torque adjustment mechanism, were fabricated using high-precision laser-cutting machines to ensure accuracy and consistency in part dimensions. High-strength steel was used for the springs and cables to provide reliable resistance, while lightweight materials such as aluminum and plastic were used for the frame and housing of the device to reduce overall weight.

The components were assembled using high-precision welding techniques to ensure the device's structural integrity. The adjustable resistance system was designed around a pulley mechanism, allowing users to control the tension on the steel cables by adjusting the position of the pulleys. This setup provides the necessary resistance for strength training exercises without relying on traditional weights.

Electronic Integration and Digital Interface

A key feature of the device is its digital resistance adjustment, which allows users to select their desired resistance level with ease. To achieve this, an electronic control system was integrated into the design. A digital circuit was programmed using C++ to control the resistance mechanism and display the current resistance level on a small screen. The user interface was designed to be simple and intuitive, allowing users to increase or decrease resistance with the push of a button.

Additionally, the device tracks the number of repetitions performed during each exercise session, providing real-time feedback to users on their progress. This information is displayed on the screen, helping users monitor their performance and set goals for future workouts. The electronics were integrated into the housing of the device in a way that minimizes bulk while ensuring durability and reliability.

Testing and Validation

Once the device was fully assembled, a series of tests were conducted to evaluate its performance, accuracy, and durability. The resistance mechanism was tested under various conditions to ensure that it could provide a consistent and precise level of

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

resistance for a variety of exercises. Measurements were taken to confirm that the torque output matched the resistance levels specified by the user on the digital display.

The device underwent rigorous durability testing, including stress tests to assess its performance under heavy loads and repetitive use. These tests confirmed that the device could withstand the demands of regular strength training without experiencing significant wear or degradation. Additionally, the calibration of the digital resistance system was verified, ensuring that the device accurately reflected the resistance settings selected by the user.

The final round of testing involved user trials, where individuals of different fitness levels tested the device in a simulated home workout environment. Feedback was gathered on the ease of use, comfort, and overall effectiveness of the device. The results were overwhelmingly positive, with users reporting that the device was easy to operate, provided a good range of resistance, and was convenient for home use.

Features and Benefits

The digital, weight-free fitness device offers several distinct advantages over traditional fitness equipment:

1. Digital Resistance Adjustment: Users can easily select and adjust their resistance level through a simple digital interface, making it easier to customize workouts.
2. No Traditional Weights: By eliminating heavy metal weights, the device reduces bulk and makes storage simple, offering the same resistance training benefits in a more compact package.
3. Eco-Friendly Design: The device uses recyclable materials, reducing the environmental impact compared to conventional equipment made from steel and other non-sustainable materials.
4. Portability: The device is lightweight and compact, making it easy to move and store in small spaces. This feature is ideal for users who have limited room for fitness equipment at home.
5. Versatility: The device can be used for a wide range of strength training exercises, including both upper and lower body movements. It is designed to support isometric, isotonic, and isokinetic exercises.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

6. Affordable: The simplified design and use of alternative materials make this device more affordable than many traditional home gym setups, lowering the barrier to entry for users seeking home workout solutions.

Conclusion

In conclusion, the development of this digital, weight-free home fitness device represents a significant innovation in the field of strength training equipment. By using advanced mechanical systems and digital control mechanisms, this device offers a highly effective and customizable workout solution in a compact, portable form factor. Moreover, its eco-friendly design and focus on affordability make it an attractive option for individuals looking to engage in strength training at home without the need for bulky, expensive equipment.

The results of the testing and validation process confirmed the device's functionality, durability, and user-friendliness, demonstrating that it is a viable alternative to traditional resistance training equipment. Looking ahead, further development could include additional features such as mobile app integration, allowing users to track their workouts and progress over time. This would enhance the device's appeal and ensure that it continues to meet the evolving needs of the fitness market.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش قابل‌توجهی در گرایش مردم به ورزش و آمادگی جسمانی به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته مشاهده شده است. به طور هم‌زمان، نگرانی‌های فزاینده پیرامون سلامت و پیشگیری از بیماری‌ها، از دهه ۱۹۹۰ به گسترش صنعت تناسب‌اندام دامن زده است. صنعت تجهیزات تناسب‌اندام شامل فروش تجهیزات خانگی و تجهیزات تجاری می‌شود. شرکت‌های خدماتی که به هر یک از این بخش‌ها خدمت می‌کنند، معمولاً محصولات خود را به سه دسته تمیز و در عین حال تکمیلی تقسیم می‌کنند: (۱) تجهیزات قلبی عروقی که برای تمرینات استقامتی استفاده می‌شوند (مانند دستگاه‌های پیمایشی، دوچرخه‌های دوچرخه‌سواری)؛ (۲) تجهیزات مقاومتی که برای تمرینات قدرتی و توان تمرینی استفاده می‌شوند (مانند ورزشگاه‌های چندمنظوره، نیمکت‌های وزنی)؛ و (۳) لوازم جانبی مرتبط (دمبل‌ها، طناب‌های پرشی و غیره [۱]. بخش خانگی تقریباً ۸۰٪ (به ازای فروش) از کل بازار تجهیزات تناسب‌اندام را تشکیل می‌دهد، که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ با ۲۴۱٪ افزایش رشد یافته است[۲].

گزارش‌های بازار نشان می‌دهد که تنها بازار سلامت و تناسب‌اندام در بریتانیا در سال ۲۰۰۳ حدود ۶,۲ میلیارد دلار تخمین زده شده است، با نرخ رشد پیش بینی شده ۶ درصد از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸[۳]. این روند محدود به یک کشور نیست، بلکه به مناطق بالغی مانند آلمان گسترش یافته است، جایی که تعداد استودیوهای تناسب‌اندام از ۲۲۵ در سال ۱۹۸۰ به ۵۷۰۰ در سال ۲۰۰۵ افزایش یافتد[۴]. قدرت عضلانی، هیپرتروفی و استقامت موضعی عناصر کلیدی هستند که افراد در تلاش برای تقویت آنها از طریق تمرینات مقاومتی هستند[5] . توصیه شده است که برنامه های ورزشی، عوامل بار خارجی مانند عملکرد، بار، حجم، انتخاب تمرین، ترتیب، فواصل استراحت، سرعت عمل عضلانی و فرکانس برای نتایج بهینه در نظر گرفته شود[5]. در میان این عوامل، بار، که باعث سازگاری عضلانی می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است[6]. بنابراین، ویژگی‌های مقاومتی نقش حیاتی در تجهیزات تمرینی تناسب‌اندام عضلانی ایفا می‌کند.

دسته‌های مختلفی از تجهیزات تمرین مقاومتی بر اساس مکانیسم‌های مقاومتی آن‌ها شناسایی شده است که شامل مقاومت ثابت، وزنه‌های آزاد (به‌عنوان‌مثال، صفحات وزن فلزی)، مقاومت سازگار (مانند موتورهای الکتریکی و فشار هیدرولیک) و مقاومت متغیر (مانند نوارها/لوله‌های الاستیک و موتورهای پنوماتیک)[7] . هر نوع مقاومت ویژگی‌های منحصربه‌فردی را نشان می‌دهد که بر سینتیک، سینماتیک و فعالیت عضلانی مرتبط در طول تمرین تأثیر می‌گذارد[۸ و ۹].با این حال، پرداختن به چالش های مرتبط با تجهیزات تمرینی موجود از جمله بررسی سیستم "وزنه های آزاد" که از رایج ترین سیستم‌های تمرین مقاومتی است مهم می‌باشد.

گونه دیگری از تجهیزات تحقیقاتی تجاری و علمی پیشرفته، عملکرد پیشرفته تمرینی را با تنظیم بار پیش‌رونده و نه افزایشی از طریق روش‌های مقاومت الکتریکی، پنوماتیکی و هیدرولیکی فراهم می‌کنند. ماشین‌هایی ازاین‌دست معمولاً دینامومتر نامیده می‌شوند. این ماشین‌ها را می‌توان بر اساس ماهیت مقاومت طبقه‌بندی کرد که می‌تواند غیرفعال، فعال یا هر دو باشد. دستگاه‌های غیرفعال از ترمز مکانیکی، مغناطیسی، هیدرولیکی یا الکتریکی برای ایجاد نیروی مقاومتی در برابر کاربر استفاده می‌کنند. دستگاه‌های فعال قادر به تولید نیرویی بدون توجه به ورودی کاربر هستند و بنابراین قادر به

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

انجام کار بر خلاف تلاش انسانی هستند. این به‌طورکلی با استفاده از یک سیستم مبتنی بر کنترل کامپیوتری به دست می‌آید که یک سروموتور[1] الکترومکانیکی یا محرک هیدرولیک / پنوماتیک در یک آرایش حلقه کنترل بسته کار می‌کند. این دستگاه‌ها قادر به ارائه طیف وسیعی از تمرینات مقاومتی با استفاده از انواع عمده فعالیت عضلانی از جمله ایزوکنتیک، ایزومتریک و ایزوتونیک هستند. این محدوده از روش‌های تمرین از طریق کنترل گشتاور، سرعت و شتاب در سراسر دامنه حرکت به دست می‌آید. این دستگاه‌ها همچنین امکانات ثبت داده‌ها و بازخورد را فراهم می‌کنند که توسط مؤسسات پزشکی و دانشگاهی به‌منظور نظارت و ثبت عملکرد افراد مورد آزمایش خاص استفاده می‌شود. طیف گسترده‌ای از روش‌های تست، وضوح و امکانات تجزیه‌وتحلیل ارائه شده توسط این دستگاه‌ها ویژگی‌های بسیار مطلوبی برای تمرینات ورزشی و تست‌های با عملکرد بالا همراه با ارزیابی آسیب و توان‌بخشی است. معایب اصلی این دستگاه‌ها هزینه‌های بسیار، پیچیدگی و پیامدهای زمانی استفاده صحیح، فضای عملیاتی موردنیاز و احساسات غیرطبیعی تمرین گزارش شده است[۱۰].

علاوه بر این چالش‌هایی مانند استفاده از مواد ناسازگار با محیط‌زیست مانند آهن وجود دارد که به طور قابل‌توجهی به انتشار کربن در طول فرایند تولید کمک می‌کند[۱۱].مسائل دیگر شامل نیازهای ویژه قدرت، مصرف انرژی بالا، هزینه‌های بالا، مشکلات استانداردسازی، افزایش پیچیدگی مقاومت و گزینه‌های محدود برای مقاومت متغیر است[۱۲]. در پرتو نگرانی‌های اخیر زیست‌محیطی جهانی، تحقیق‌وتوسعه تجهیزات تناسب‌اندام که از مواد طبیعی، قابل‌بازیافت و چندمنظوره با کاهش انتشار کربن در طول حمل‌ونقل و ساخت استفاده می‌کنند، توجه قابل‌توجهی را به خود جلب کرده است[۱۳].علاوه بر این، نگرانی‌هایی برای مصرف‌کنندگان خانگی نیز وجود دارد، مانند وزن سنگین و ابعاد بزرگ تجهیزات که در جابه‌جایی مشکل ایجاد می‌کند و فضای قابل‌توجهی را در داخل خانه اشغال می‌کند. علاوه بر این، کاربران باید هزینه وزنه‌های فولادی غیرضروری را متحمل شوند و هیچ مزیت اضافی برای فرد ایجاد نمی‌کنند.

در راستای این ملاحظات، هدف از انجام این مطالعه طراحی، ساخت و اعتباریابی "دستگاه تناسب‌اندام خانگی بدون وزنه دیجیتالی" که راه‌حلی نوآورانه جهت مرتفع ساختن مشکلات ذکر شده است، است. این دستگاه از مکانیزم مکانیکی پیشرفته استفاده می‌کند و نیاز به وزنه‌های فولادی سنتی را از بین می‌برد **و** در عوض، مقاومتی مکانیکی با قابلیت تنظیم دیجیتالی را ارائه می‌کند، درحالی‌که به طور هم‌زمان نیروهای الاستیک مانند فنرها **یا** کشش را ارائه می‌کند و قادر است مشابه وزن‌های معمولی نیروی ثابتی را در کل دامنه حرکت ایجاد کند و به کاربران اجازه می‌دهد از مزایای هر دو مدل تمرینی استفاده کنند. با پرداختن به محدودیت‌های تجهیزات موجود و سرمایه‌گذاری بر پیشرفت‌های تکنولوژیکی، این تجهیزات نوآورانه تناسب‌اندام خانگی آینده امیدوارکننده‌ای را برای تمرین و تقویت عضلات ارائه می‌دهد.

1. Servomotor

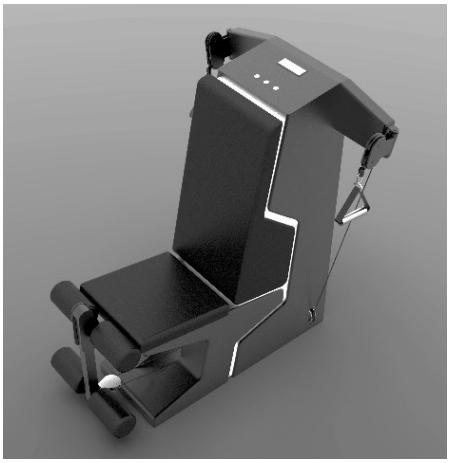
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

روش‌شناسی

برای ساخت این دستگاه ابتدا بررسی گسترده‌ای از تجهیزات تناسب‌اندام موجود، روش‌های تمرین مقاومتی و پیشرفت‌های تکنولوژیک انجام شد. این جستجو اطلاعات موردنیاز جهت مفهوم‌سازی و طراحی اولیه دستگاه تناسب‌اندام خانگی را فراهم کرد. بدین منظور در مرحله اول مدل سه‌بعدی دقیق و مناسبی از دستگاه جهت تسهیل در ایجاد تغییرات و اصلاحات تکراری در نرم‌افزارهای طراحی Rhino cross 6 و Autocad 2018 طراحی گردید، سپس دستگاه تناسب‌اندام خانگی با استفاده از ترکیبی از تکنیک‌های ساخت سنتی و روش‌های ساخت پیشرفته، ساخته شد.

مدل‌سازی

در ابتدا ایدهٔ اصلی این دستگاه که همان مکانیزم مکانیکی تغییر گشتاور خروجی بود، پس از انجام محاسبات اولیه بر روی کاغذ، در نرم‌افزار راینو به‌صورت شماتیک ترسیم شد. سپس باتوجه‌به دامنه تغییرات گشتاور و محاسبه ابعاد و اندازه دقیق اجزای مکانیزم، این قطعات توسط نرم‌افزار اتوکد ترسیم شده و با استفاده از این نقشه‌های دوبعدی و انتقال به نرم‌افزار راینو حجم سه‌بعدی نهایی با دقت مدل‌سازی شد. پس از طراحی مکانیزم، ابعاد اسکلت، بدنه و فرم دستگاه و نشیمنگاه آن باتوجه‌به ابعاد و ارگونومی بدن انسان [۱۴]در نرم‌افزار راینو طراحی و مدل‌سازی شد (شکل ۱).



شکل ۱. مدل سه بعدی دستگاه توسط نرم‌افزار راینو

روش انجام ساخت دستگاه

فرایند کلی ساخت شامل مکانیزم مکانیکی تغییر گشتاور خروجی، یکپارچه‌سازی مکانیسم‌های مقاومت تنظیم شونده، مونتاژ اجزای مکانیکی و الکترونیکی و کالیبراسیون بود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

مکانیزم مکانیکی تغییر گشتاور خروجی

مکانیزم مکانیکی تغییر گشتاور از دو بخش ثابت و متحرکت تشکیل شده است که پس از طراحی قطعات مکانیزم توسط نرم‌افزار اتوکد، این قطعات توسط دستگاه برش لیزر روی ورق فلزی با ضخامت دو میلیمتر برش شد. سپس قطعات برش شده توسط دستگاه جوش co2 به یکدیگر متصل شدند. دو قسمت ثابت و متحرک نیز توسط یک پیچ با قطر ۱۲ میلیمتر در مرکز به یکدیگر متصل شدند.

یکپارچه‌سازی مکانیسم‌های مقاومت تنظیم شونده

اجزای مختلف مکانیزم که از یک فنر پیچشی و مکانیزم مکانیکی تغییر گشتاور تشکیل شده توسط کابل‌های روکش‌دار رشته‌ای فلزی با قطر ۵ میلیمتر به یکدیگر مرتبط می‌شوند. محل قرارگیری قرقره ها و مسیر کابل ها به گونه ای ساخته شد که با کشش کابل دستگاه توسط کاربر به منظور اجرای حرکات مختلف، مکانیزم فعال می‌شود و کابلی که به دور بخش ثابت مکانیزم پیچیده شده بود موجب ایجاد گشتاور در سیستم می‌شود. این گشتاور توسط یک کابل دیگر که یک سر آن به بخش متحرک مکانیزم و سمت دیگر به فولی فنر متصل شده موجب چرخش فنر و اعمال مقاومت می‌گردد.

مونتاژ اجزای مکانیکی و الکترونیکی

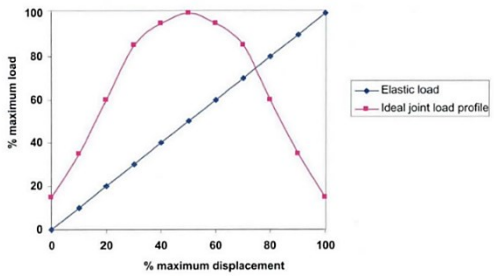
بخش الکترونیکی دستگاه از یک مدار (کدنویسی شده به زبان C++)، نمایشگر دیجیتال و استپر موتور ساخته شد که در واقع کل این مجموعه، وظیفه محاسبه مقاومت خروجی که توسط کاربر تعیین می‌شود را دارد. به این صورت که پس از اعمال مقاومت موردنظر به سیستم، استپر موتور دستگاه که درون بخش ثابت مکانیزم نصب شده و موجب به چرخش درآوردن رزوه ۱۲ میلیمتری در مرکز می‌شود، وضعیت مکانیزم را (با دقت ۰,۵ گیلوگرم) تنظیم می‌کند. نمایشگر دیجیتال نیز بر روی دستگاه نصب شده و کاربر به راحتی توسط ۳ کلید(افزایش-کاهش-تایید) می تواند به مدار دستور اعمال کند (شکل ۲).

شکل ۲. نمونه اولیه ساخته شده دستگاه (پس از اعمال تغییراتی نسبت به نمونه سه بعدی طراحی شده)

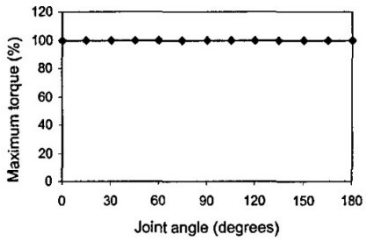
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

کالیبراسیون

پس از مطالعه پیرامون موضوعاتی از قبیل ویژگی‌های فیبر عضلانی و ساختارهای آناتومیکی[۱٤]، ویژگی مقاومت الاستیکی و تمرینات ایزوتونیک[۱۵] باتوجه‌به ویژگی نمودارهای نیروی فنر- جابه‌جایی و بارگذاری مفصل - جابه‌جایی (شکل ۳)، یک بادامک بر اساس برآیند این دو نمودار در نرم‌افزار اتوکد طراحی شد تا بتواند گشتاور خروجی در طول دامنه حرکتی را تغییر دهد و به نمودار بهینه (شکل ٤) که در واقع یک گشتاور خروجی ثابت در طول دامنه حرکت در تمرین ایزوتونیک است، دست یابد. در واقع مکانیزم، از طریق یک کابل به بادامک متصل شده و توسط کاربر از طریق برخی از اتصالات مکانیکی فعال می‌شود.



شکل ۳. رابطه بین جابجایی و تغییرات بارگذاری در مکانیزم هایی با قابلیت الاستیکی و تغییرات بارگذاری روی مفصل [۱۵]



شکل ۴. رابطه بین زاویه مفصل و گشتاور خروجی در حرکت ایزوتونیک[۱۵]

روایی و پایایی

پس از ساخت نمونه اولیه به‌منظور اعتبارسنجی دستگاه و بررسی دقت عملکرد آن ابتدا از یک نیروسنج دیجیتالی مدل WH A08 شرکت weiheng با دقت ۵ گرم از ۰ تا ۱۰ کیلوگرم و دقت ۱۰ گرم از ۱۰ تا ۵۰ کیلوگرم ساخت کشور چین (۲۰۱۸) استفاده شد. در ۸ مقاومت مختلف، مقدار نیروی نشان‌داده‌شده روی نیروسنج با مقاومت تنظیم شده بر روی دستگاه در ٤ تکرار سنجیده شد. از ضریب همبستگی پیرسون جهت روایی نتایج استفاده شد. همچنین برای سنجش پایایی دستگاه در ۳ حرکت جلو پا نشسته، پرس سینه نشسته، و جلوبازو نشسته، هر کدام با ٤ تکرار پی‌درپی با وزنه ۱۰ کیلوگرمی و در ۵ نوبت توسط نیروسنج دیجیتال اجرا شد. از ضریب درون همبستگی جهت پایایی نتایج استفاده شد[۱۵].

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

شکل ۵. اندازه گیری مقاومت دستگاه توسط نیرو سنج دیجیتال برای سنجش روایی در مقاومت های ۸ و ۱۲,۵ کیلوگرم

یافته‌ها

نتایج حاصل از مقایسه نیروسنج و دستگاه ضریب همبستگی ۰/۹ را نشان می‌دهد (جدول ۱) که حاکی از بالا بودن روایی دستگاه فوق می‌باشد.

جدول ۱. مقایسه نتایج دستگاه و نیرو سنج

حالت	مقاومت تنظیم شده روی دستگاه	مقاومت نشان‌داده‌شده توسط نیروسنج	ضریب همبستگی پیرسون
۱	۵ Kg	٤/۹۸٥	۰/۹
۲	۸ Kg	۷/۹٤٥	
۳	۱۲,٥ kg	۱۲,٦	
٤	۱٥ Kg	۱٥	
٥	۱۸,٥ Kg	۱۸/٦	
٦	۲۰ Kg	۲۰/۰٦	
۷	۲۲,٥ Kg	۲۲/٥	
۸	۲٥ Kg	۲٥/۲	

پایایی دستگاه در هر حرکت در جدول (۲) نمایش داده شده است که نشان می‌دهد دستگاه در حرکات مختلف از تکرار پذیری خوب و دقت بالایی در مقاومت تولید شده برخورد است (جدول ۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

جدول 2. نتایج حاصل از تکرار پذیری دستگاه

انواع حرکت	مقدار نیروی نشان‌داده‌شده توسط دستگاه	ضریب پایایی درون همبستگی Intraclass Correlation Coefficient
جلو پا نشسته	۱۰/۲۵	۰/۸
پرس سینه نشسته	۱۰/۰۳	۰/۷
جلوبازونشسته	۱۰	۰/۸

بحث

در این مطالعه، دستگاه تناسب‌اندام بدون وزنه با تنظیم دیجیتالی به‌عنوان یک راه‌حل نوین برای مواجهه با چالش‌های کار با تجهیزات بدنسازی در محیط منزل معرفی شده و مورد بررسی قرار گرفته است. این دستگاه با توانایی ارائه یک دستگاه چندمنظوره و منحصربه‌فرد، به ورزشکاران امکان می‌دهد تا تمرینات قدرتی خود را در فضای محدود و خانگی بهبود دهند. همچنین دستگاه تناسب‌اندام با تنظیم دیجیتالی امکان انجام تمرینات متنوع از جمله ایزومتریک و ایزوتونیک را با دو روش مقاومت ثابت در طول دامنه و مقاومت الاستیکی افزاینده فراهم می‌کند که این ویژگی وجه تمایز اصلی این دستگاه با سایر نمونه‌های مشابه است. یکی دیگر از مزایای این دستگاه قابلیت تنظیم دقیق مقاومت به شکل دیجیتالی است که به ورزشکاران این امکان را می‌دهد تا با دقت ۰,۵ کیلوگرم مقاومت را تنظیم کرده و تمرینات خود را با کنترل بالا انجام دهند. این ویژگی موجب برتری این دستگاه نسبت به نمونه‌های وزنه آزاد است که مقاومت در آن‌ها ضرایبی از ۵ و ۱۰ کیلوگرم هستند. از طرفی وجود دو حالت مقاومت دستگاه، یعنی ثابت در طول دامنه و الاستیکی افزاینده، این امکان را برای ورزشکاران فراهم می‌کند که در هر نقطه از حرکت باتوجه‌به اهداف خود با مقاومت موردنظر تمرین کنند. در نهایت این دستگاه به دلیل فضای کمی که اشغال می‌کند و وزن کم‌تر، به ورزشکاران این امکان را می‌دهد تا تمرینات را در فضای محدود و خانگی انجام دهند. همچنین امکان مونتاژ و دمونتاژ آسان آن، حمل‌ونقل را سهل‌تر می‌کند. علی‌رغم مزایای زیادی که این دستگاه برای مخاطبین خود فراهم می‌کند به دلیل استفاده از تنظیم دیجیتال و تنظیم مقاومتی که به برق نیاز است، ممکن است برخی از کاربران را محدود کند. برخی از پیشرفته‌ترین دستگاه‌های دیجیتالی موجود در دنیا دستگاه بدنسازی ویتروین (Trainer Vitruvian) و تونال (Tonal) هستند که از تجهیزات بدنسازی خانگی هوشمند که از الگوریتم‌های کامپیوتری برای تولید مقاومت خودکار و تطبیقی استفاده می‌کند، برخوردار هستند. در این دستگاه‌ها، کاربر روی دستگاه می‌ایستد و از دسته‌ها یا تسمه‌ها برای انجام تمرینات مختلف استفاده می‌کند. این دستگاه مشابه تونال است، با این تفاوت که بسیار کوچک‌تر است – اما مقاومت دیجیتالی بیشتری را ارائه می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

برتری این محصولات نسبت به دستگاه موردمطالعه در این تحقیق، در هوشمندسازی و حداکثر مقاومت تولیدی دستگاه است و نقاط ضعف آن قیمت بسیار بالا به‌عنوان یک دستگاه خانگی و محدودیت در اجرای برخی از حرکات مانند جلو پا نشسته و حرکاتی که جهت نیرو اعمال شده در آن‌ها از بالابه‌پایین است، است. همچنین به دلیل استفاده از موتورهای الکتریکی قدرتمند، تعمیر و نگهداری آن می‌تواند کاربر را به چالش بکشد. درصورتی‌که در دستگاه موردمطالعه از یک مکانیزم مکانیکی به نسبت ساده‌تر استفاده شده که می‌تواند دقتی مشابه را در تغییرات مقاومت اعمال کند درحالی‌که بسیار اقتصادی‌تر است.

به‌طورکلی، دستگاه تناسب‌اندام بدون وزنه با تنظیم دیجیتالی با توانایی انجام تمرینات گوناگون و تنظیم مقاومت با دقت بالا، به‌عنوان یک ابزار شخصی مناسب در حوزه بدنسازی در محیط منزل مطرح می‌شود. این دستگاه، باتوجه‌به ویژگی‌های منحصربه‌فرد و امکانات آن، به ورزشکاران این امکان را می‌دهد که تمرینات خود را با انعطاف‌پذیری بالا و با کنترل دقیق انجام دهند و در مسیر بهبود فیزیکی خود پیشروی کنند.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر طراحی و ساخت دستگاه تناسب‌اندام خانگی بدون وزنه با تنظیم دیجیتالی را به‌عنوان یک ابزار کاربردی در تمرینات عضلانی در فضای خانگی معرفی می‌کند. این دستگاه با امکان تنظیم دقیق مقاومت و انجام تمرینات متنوع، به ورزشکاران این امکان را می‌دهد که به شکلی مناسب و باتوجه‌به توانایی‌های فیزیکی‌شان تمرین کنند. نقاط قوت این دستگاه در ایجاد تنوع تمرینات، دقت تنظیم مقاومت، و موجودیت در فضای کوچک و خانگی است. این دستگاه می‌تواند به ورزشکاران در هر سطح توانایی کمک کند و به آن‌ها امکان تمرینات بهبود عضلات و حفظ سلامت فیزیکی را در محیط خانگی فراهم کند. علاوه‌برآن مکانیزم تولید نیروی به کار رفته در این دستگاه قابل‌استفاده در دستگاه‌های بدنسازی باشگاهی نیز است که موجب کاهش هزینه و صرفه‌جویی در مصرف چندین تن فولاد خام در هر باشگاه می‌شود. همچنین این دستگاه با قابلیت تولید نیروی الاستیکی متغیر با دقت بالا، برای اجرای تمرینات توان‌بخشی نیز مناسب است. به‌طورکلی، این تحقیق مبتنی بر یک رویکرد کمی و کیفی، نتایجی کاربردی و قابل‌اجرا در عمل ارائه می‌دهد و به نظر می‌رسد که این دستگاه می‌تواند نقش مهمی در بهبود و حفظ سلامت ورزشکاران و عموم جامعه ایفا کند. در آینده، با جمع‌آوری بازخورد کاربران و انجام بهبودهای فنی و طراحی، این دستگاه می‌تواند بهبود و گسترش یابد و امکان انجام تمرینات بهتر و گسترده‌تر را برای افراد ایجاد کند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از تمامی کسانی که در ساخت این دستگاه ما را یاری کردند اعلام می‌دارد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]

References

1. Caine MP, Yang C. Design and Materials in Fitness Equipment. In: Subic A, editor. Materials in Sports Equipment (Second Edition). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering; 2003. p. 431-49. Doi: org/10.1016/B978-0-08-102582-6.00015-0
2. SGMA. The state of the industry: SGMA's annual report on the US sporting goods market. Washington, DC: Sporting Goods Manufacturers Association; 2005.
3. Feedback Research Services. Fitness products and service markets [Internet]. 2023;6(5).
4. Kietz J. The Growth of Fitness Studios in Germany. J Fitness Industry Trends. 2005;12(3):45-53.
5. American College of Sports Medicine. Exercise Program Recommendations for Optimal Results. Med Sci Sports Exerc. 2009;41(2):687-708. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
6. Currier BS, Mcleod JC, Banfield L, Beyene J, Welton NJ, D'Souza AC, Keogh JAJ, Lin L, Coletta G, Yang A, Colenso-Semple L, Lau KJ, Verboom A, Phillips SM. Resistance training prescription for muscle strength and hypertrophy in healthy adults: a systematic review and Bayesian network meta-analysis. Br J Sports Med. 2023 Sep;57(18):1211-1220. doi: 10.1136/bjsports-2023-106807. Epub 2023 Jul 6. PMID: 37414459; PMCID: PMC10579494. doi: 10.1136/bjsports-2023-106807.
7. By Ronald L. Snarr, PhD, and Alexis Batrakoulis, PhD. Types of resistance training equipment. Human Kinetics. NSCA's Essentials of Personal Training 3rd Edition With HKPropel Access.2022.
8. Frost, D.M., Cronin, J.B. & Newton, R.U. A comparison of the kinematics, kinetics and muscle activity between pneumatic and free weight resistance. Eur J Appl Physiol 104, 937–956 (2008). Doi: 10.1007/s00421-008-0821-8
9. Hass CJ, Feigenbaum MS, Franklin BA. Prescription of resistance training for healthy populations. Sports Med. 2001;31(14):953-64. doi: 10.2165/00007256-200131140-00001. PMID: 11735680.
10. Sullivan AN, Lachman ME. Behavior Change with Fitness Technology in Sedentary Adults: A Review of the Evidence for Increasing Physical Activity. Front Public Health. 2017 Jan 11;4:289. doi: 10.3389/fpubh.2016.00289. PMID: 28123997; PMCID: PMC5225122.
11. Worrell E, et al. Environmental Impact of Exercise Equipment Materials. Environ Sci Technol. 2009;43(15):5598-603.
12. Prieto-González P, Yagin FH. Energy expenditure, oxygen consumption, and heart rate while exercising on seven different indoor cardio machines at maximum and self-selected submaximal intensity. Front Sports Act Living. 2024 Feb 8;6:1313886. doi: 10.3389/fspor.2024.1313886. PMID: 38390229; PMCID: PMC10881809.
13. Schmidt A. Eco-Friendly Fitness Equipment: Addressing Environmental Concerns. J Sustain Dev. 2006;14(2):101-15.
14. BS EN ISO 20957-2:2021 Stationary training equipment Strength training equipment, additional specific safety requirements and test methods.
15. Boroushak N, Khoshnoodi H, Daneshmandy H, Eslami M. Designing and simulating of helmet evaluation machine in martial arts based on dynamic's criterias. RSMT. 2019;17(17):37-46. DOI: 10.29252/jsmt.17.17.37

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-03-13]