Packaging Sciences and Techniques
Vol. 16, No. 2, Summer 2025, Serial No. 62
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

Design of a Timing Screw Mechanism with the Capability to Transfer and Rotate Cylindrical Parts, Manufactured Using 3D Printing Technology

Saman Khalilpourazay[1*], Seyed Mahdi Rahnama[2]

[1]Correspondence: Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran. Email Address: s.khalilpour@mee.uut.ac.ir

[2]BSc Student, Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran. Email Address: mahdirahnema81@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 8 February 2025

Received in revised form: 4 September 2025

Accepted: 11 September 2025

Available online: 21 September 2025

Keywords:

Timing Screw

Packaging

Part Handling

3D Printing

Additive Manufacturing

ABSTRACT

Timing screws are one of the main mechanisms used in packaging and conveying industrial parts lines. Despite their variety and extensive use, there are few scientific resources on their design principles. This research addresses the design, construction, and performance evaluation of a timing screw mechanism capable of rotating 180 degrees and reversing the direction of the packaging line for cylindrical parts. First, the main design parameters of the timing screw were examined, and their values were set based on assembly requirements. Since the screw is a standard linear-moving screw, extensions were added to enable 180-degree rotation. A computer simulation was used for this process. After determining the dimensions and creating a 3D model of the timing screw and its attached assembly, manufacturing was carried out with thermoplastic polylactic acid using the filament-freeform fabrication method. To evaluate performance, an electric motor was installed on the assembly, and tests were conducted on real parts. The practical tests show that the designed timing screw performs its intended function accurately. Additionally, the average surface roughness measured at 5.34 micrometers is considered a desirable result given the 3D printing process and proper operation.

Cite this article: S. Khalilpourazay and S. M. Rahnama, "Design of a Timing Screw Mechanism with the Capability to Transfer and Rotate Cylindrical Parts, Manufactured Using 3D Printing Technology," Journal of Packaging Sciences and Techniques, vol. 16, no. 2, pp. 1-11, 2025. DOR: 20.1001.1.22286675.1404.16.62.1.7

Publisher: Imam Hossein University.

© The Author(s).

Abstract

Introduction

This research addresses a significant gap in both academic literature and industrial practice by presenting a comprehensive methodology for the design, additive manufacturing, and functional validation of a specialized timing screw mechanism. Timing screws are indispensable components in automated packaging and assembly lines, providing precise control over the movement, spacing, and orientation of products. Despite their widespread application across industries such as food, pharmaceuticals, and automotive, publicly accessible scientific resources detailing their design principles, particularly for complex operations such as rotation, are remarkably scarce. This gap often forces industries to rely on expensive, imported proprietary solutions from original equipment manufacturers, leading to economic drain and vulnerability to production halts. This study focuses on this challenge by demonstrating the viability of using a materials-by-design and digital fabrication approach to create a functional timing screw mechanism capable of performing a 180-degree rotation and simultaneous directional change of cylindrical parts, thereby offering a potential pathway toward import substitution and enhanced technical self-sufficiency.

Result and Discussion

The introduction establishes the critical role of timing screws in modern automation, highlighting their function in synchronizing, spacing, and guiding products through various stages of packaging and assembly. The authors categorize timing screws into several types, including standard, separating, accelerating, and the focus of this paper: the 180-degree rotation timing screw. They identify a clear research deficit, noting that while these components are technologically mature, their design knowledge remains largely proprietary. This is corroborated by a field study within Iranian industries, which revealed a near-total dependence on foreign suppliers for these critical components, citing challenges in precise design and manufacturing for complex geometries. The study, therefore, positions itself to demystify the design process and leverage the geometric freedom of additive manufacturing (AM) to create a sophisticated mechanism that would be costly and complex to produce using traditional methods like CNC machining.

The primary objective of this research is to systematically design, fabricate, and evaluate a timing screw mechanism that can not only transfer cylindrical parts linearly but also impart a precise 180-degree rotation while changing their conveyance path. This dual functionality is essential for production lines where a part must be reoriented or fed into a different assembly branch. The study aims to achieve this through a structured process that begins with defining key design parameters based on the part geometry, proceeds through 3D modeling and motion simulation, and culminates in fabrication using the Filament Freeform Fabrication (FFF) method with polylactic acid (PLA) filament. A further objective is to assess the dimensional accuracy

and surface quality of the 3D-printed components to validate the suitability of FFF for producing such high-precision functional mechanisms.

The methodology is meticulously detailed, starting with the determination of the timing screw's core design indices. For a cylindrical part with a height of 25 mm and a diameter of 10 mm, the major diameter of the screw was set to 25 mm, the root diameter to 13 mm, and the length to 185 mm. The pitch was calculated to be 15.417 mm to accommodate twelve threads, resulting in a helix angle of 10.11 degrees. Crucially, recognizing that a standard timing screw only provides linear motion, the research involved the innovative design of custom attachments and a base platform. These components, featuring two inclined pathways with specific angles, 11.31 degrees for the inlet and 14.76 degrees for the outlet, were engineered to guide the part onto and off the screw, facilitating the controlled 180-degree roll. The entire system, including the screw and the integrated base with attachments, was modeled and dynamically simulated in SolidWorks to verify the intended motion before fabrication.

The fabrication was executed using FFF 3D printing on a Creality Ender-3 V3 KE printer with a 0.3 mm nozzle. All components were printed in black PLA with a layer height of 100 microns, a nozzle temperature of 260°C, and a bed temperature of 60°C. For functional testing, the assembled mechanism was driven by a small electric motor connected via a rubber belt. The results of the experimental validation were highly successful. The physical tests confirmed that the cylindrical part was smoothly conveyed along the inlet path, gradually tilted and seated onto the rotating timing screw, underwent a flawless 180-degree rotation as it traversed the screw, and was finally discharged down the steeper outlet path, effectively completing the change in direction. The repeated cycles demonstrated the mechanism's reliability and accuracy. Furthermore, quality assessment of the 3D-printed parts revealed an average surface roughness of 5.34 micrometers, which corresponds to the N8-N9 roughness grade according to ISO 1302. This surface quality was deemed more than adequate for the intended application, as it did not impede the smooth operation of the mechanism. The high-dimensional accuracy achieved through the 100-micron layer height was also critical for the successful assembly and operation of all components.

Conclusion

In conclusion, this research successfully demonstrates a complete pipeline—from conceptual design and simulation to functional prototyping—for creating a complex timing screw mechanism using low-cost, accessible FFF 3D printing. The study not only provides a practical solution for a specific industrial need but also establishes a foundational framework for the design and domestic manufacturing of other custom automation components, thereby contributing to both academic knowledge and practical industrial capability.

«علوم و فنون بسته‌بندی»
سال شانزدهم، شماره ۶۲، تابستان ۱۴۰۴؛ ص ۱۱-۱
شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

طراحی ساز و کار پیچ تایمینگ با قابلیت انتقال و ایجاد چرخش در قطعات استوانه‌ای و ساخت آن توسط فناوری چاپ سه‌بعدی

سامان خلیل‌پورآذری[1*]، سید مهدی رهنما[2]

[1] استادیار، گروه مهندسی ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: s.khalilpour@mee.uut.ac.ir

[2] دانشجوی مهندسی ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: ahdirahnema81@gmail.com

چکیده

پیچ تایمینگ[1] یکی از سازوکارهای اصلی مورد استفاده در خطوط بسته‌بندی و جابه‌جایی قطعات صنعتی است که علی‌رغم تنوع و گستردگی کاربرد آن‌ها، منابع علمی بسیار محدودی در رابطه با اصول طراحی آن‌ها وجود دارد. در این تحقیق به طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد یک سازوکار پیچ تایمینگ با قابلیت دوران ۱۸۰درجه‌ای و تغییر مسیر همزمان خط بسته‌بندی در قطعات استوانه‌ای شکل پرداخته شده است. در ابتدا شاخص‌های اصلی طراحی پیچ تایمینگ بررسی شده و با توجه به الزامات سرهم‌بندی، مقادیر آن‌ها تعیین شد. از آنجایی که، پیچ طراحی شده فقط یک پیچ استاندارد برای جابه‌جایی قطعات به صورت خطی است، الحاقاتی به مجموعه پیچ تایمینگ افزوده شد تا قابلیت چرخش ۱۸۰درجه‌ای را در آن ایجاد نماید. برای این کار از شبیه‌سازی در نرم‌افزار رایانه‌ای استفاده گردید. با تعیین اندازه‌ها و تهیه شکل سه‌بعدی پیچ تایمینگ و مجموعه الحاق شده به آن، فرایند ساخت آن‌ها از جنس پلی‌لاکتیک اسید گرمانرم به روش تولید آزادانه با فیلامنت[2] انجام شد. همچنین، برای ارزیابی عملکرد مجموعه ساخته شده یک موتور الکتریکی بر روی آن سرهم شده و عملکرد آن بر روی قطعات واقعی آزمایش شد. نتایج آزمایش عملی نشان می‌دهد که پیچ تایمینگ طراحی شده با دقت زیادی توانایی انجام کارکرد موردنظر را دارا است. همچنین، نتایج اندازه‌گیری زبری سطح میانگین نشان‌دهنده مقدار ۵/۳۴ میکرومتر است که با توجه به چاپ سه‌بعدی پیچ تایمینگ و عملکرد صحیح آن مقدار مطلوبی ارزیابی می‌گردد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
نوع مقاله: علمی پژوهشی
دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۳
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰
ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

کلیدواژه‌ها:
پیچ تایمینگ
بسته‌بندی
جابه‌جایی قطعات
چاپ سه‌بعدی
ساخت افزایشی

استناد: خلیل پورآذری، سامان، رهنما، سیدمهدی، " طراحی سازوکار پیچ تایمینگ با قابلیت انتقال و ایجاد چرخش در قطعات استوانه‌ای و ساخت آن توسط فناوری چاپ سه‌بعدی"، نشریه علوم و فنون بسته‌بندی، دوره ۱۶، شماره۶۲، صفحات ۱۱-۱، ۱۴۰۴. DOR: 20.1001.1.22286675.1404.16.62.2.8

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).
© نویسندگان.

[1] Timing Screw
[2] Filament

۱- مقدمه

پیچ تایمینگ یکی از اجزای کاربردی و اصلی در سامانه‌های بسته‌بندی صنعتی به شمار می‌آید که با فراهم ساختن کنترل دقیق حرکت محصولات، هماهنگی و ترتیب‌دهی بهینه در خطوط بسته‌بندی و تولید را ممکن می‌سازد[۱]. این پیچ‌ها با انتقال یکنواخت و دقیق ظروف و بسته‌ها، از بروز مشکلاتی نظیر گیرکردن و ناهماهنگی جلوگیری کرده و باعث افزایش کارایی، کاهش هزینه‌های ناشی از توقف‌های غیرمترقبه و بهبود کیفیت نهایی بسته‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، در سامانه‌های خودکارسازی[1] پیشرفته، پیچ تایمینگ نقش اساسی در همگام‌سازی، کنترل نوع و سرعت حرکت، مسیر حرکت، فاصله‌گذاری قطعات و تنظیم موقعیت دقیق محصولات دارد که به بهینه‌سازی فرآیندها و افزایش رضایت مشتری کمک می‌کند. بنابراین، استفاده از پیچ تایمینگ در صنایع بسته‌بندی نه تنها به عنوان یک راهکار فنی برای کنترل حرکت محسوب می‌شود، بلکه به عنوان عاملی کلیدی در ارتقای بهره‌وری و توسعه پایدار خطوط تولید در این حوزه مطرح است[۲, ۳]. این سازوکار[2] حرکتی با طراحی مارپیچی شکل، امکان حرکت کنترل‌شده محصولات در مسیرهای مشخص و با سرعت مناسب را متناسب با هندسه پیچ تایمینگ فراهم می‌کند[۴]. پیچ‌های تایمینگ به صورت سفارشی برای هر شکل محصول طراحی شده و حرکت قطعات را به گونه‌ای هماهنگ می‌کنند که با یک چرخش کامل پیچ، محصول طول معینی را در خط بسته‌بندی به منظور جابه‌جایی، دربندی، پرکردن، برچسب‌گذاری و سایر مراحل بسته‌بندی طی کند[۵]. با ظهور اندیشه خودکارسازی در صنایع تولیدی و لزوم افزایش تعداد تولید، سازوکار پیچ تایمینگ برای اولین بار در اوایل قرن بیستم توسعه یافته و در خطوط بسته‌بندی صنایع غذایی، داروسازی و خودروسازی مورد استفاده قرار گرفت، زیرا نیاز به کنترل دقیق حرکت محصول با استفاده از سازوکارهای جابه‌جایی ابتکاری با سرمایه‌گذاری اولیه پایین امری ضروری بود. در آغاز برای تولید پیچ‌های تایمینگ از مواد فلزی استفاده گردید، ولی با پیشرفت فناوری، مواد پیشرفته‌ای مانند پلیمرها و پلاستیک‌های با استحکام مناسب و مقاوم در برابر سایش نیز در تولید آن‌ها رواج یافت. کاربردهای پیچ تایمینگ را در صنایع مختلف براساس وظیفه‌ای که بر عهده آن است می‌توان در مواردی مانند: ۱) صنایع بسته‌بندی برای هدایت و مرتب‌سازی بطری‌ها، قوطی‌ها، و بسته‌های مواد غذایی در خطوط تولید، ۲) صنایع خودروسازی جهت جابه‌جایی قطعات خودرو در بین ایستگاه‌های خطوط سرهم‌بندی[3] به عنوان جایگزینی برای نوارهای نقاله و کانوایرها[4]، ۳) صنایع الکترونیک به منظور نظارت بر حرکت دقیق بردهای الکترونیکی و قطعات حساس در طول خط تولید و ۴) صنایع دارویی برای کنترل دقیق جابه‌جایی آمپول‌ها و بسته‌های دارویی در فرآیند تولید همراه با پر کردن و برچسب‌گذاری آن‌ها تقسیم‌بندی نمود[۶]. دلیل کاربرد گسترده پیچ تایمینگ به عنوان یک سازوکار مورد استفاده در سامانه‌های خودکارسازی می‌توان ناشی از دقت و قابلیت بالای قطعه مارپیچی آن دانست که امکان کنترل منظم حرکات و موقعیت محصولات را فراهم می‌آورد و با انتخاب مواد مناسب و یا استفاده از پوشش‌های مقاوم دارای طول عمر کاربری بالایی است. همچنین، در مقایسه با سامانه‌های سنتی مبتنی بر نوار نقاله و یا سازوکارهای فشاری، پیچ تایمینگ از ایجاد لرزش و ضربه‌های ناگهانی در حین جابه‌جایی قطعات جلوگیری می‌کند[۷]. دلیل دیگر تمایل به استفاده از این نوع سازوکار را می‌توان امکان طراحی پیچ‌های تایمینگ برای قطعات و محصولات مختلف با ابعاد و ویژگی‌های متنوع دانست که به راحتی با تغییر در طراحی مارپیچ مورد استفاده در آن قابل دسترسی است. علاوه بر این، استفاده از این سازوکار باعث کاهش تداخل در خطوط بسته‌بندی و تولیدی و بهینه‌سازی زمان جابه‌جایی قطعات می‌شود، امری که می‌تواند به نوبه خود نقش مهمی در کاهش هزینه نهایی محصول تولید شده به جهت کاهش زمان حمل‌ونقل داخلی قطعه در کارخانه ایفا نماید.

البته با وجود مزایای ذکر شده در استفاده از پیچ تایمینگ، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد که باید در طراحی و استفاده از آن مدنظر قرار گیرد از جمله اینکه، این سازوکار حرکتی بیشتر برای قطعات صلب و سخت مناسب است و برای انتقال محصولات انعطاف‌پذیر محدودیت‌هایی دارد. از طرف دیگر طراحی و تولید پیچ تایمینگ با دقت بالا، نیاز به طراحی ریزبینانه و استفاده از تجهیزات خاص ماشین‌کاری و تولید دقیق دارد که ممکن است هزینه‌بر و در بعضی از موارد غیر قابل دسترسی است. با این حال، مهم‌ترین نکته در طراحی این سازوکار تعیین هندسه مارپیچ و ملحقات مورد استفاده در آن است، زیرا هرگونه عدم تطابق در طراحی پیچ با ابعاد و شکل قطعات موردنظر برای جابه‌جایی، می‌تواند منجر به عملکرد نادرست سازوکار شود. پیچ‌های تایمینگ مورد استفاده را می‌توان براساس نوع کاربرد و حرکت ایجاد شده در آن‌ها در چند دسته تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از:

[1] Automation systems
[2] Mechanism
[3] Assembly
[4] Conveyor

۱) پیچ تایمینگ استاندارد[1] که برای حرکت یکنواخت و همگام‌سازی قطعات در خطوط بسته‌بندی و سرهم‌بندی قطعات استفاده می‌شود و قطعات را به طور پیوسته و هماهنگ در امتداد مارپیچ پیچ حرکت می‌دهد تا فرآیند بعدی بر روی آن‌ها انجام گیرد. مزایای این نوع پیچ حرکت یکنواخت، سادگی در تولید و معایب آن محدودیت در تغییر سرعت است[۸].

۲) پیچ تایمینگ تفکیک‌کننده[2] که هدف از طراحی آن‌ها جداسازی قطعات از یکدیگر و ایجاد فاصله مشخص بین آن‌هاست و معمولاً در خطوط بسته‌بندی صنایع دارویی برای ایجاد فاصله میان بطری‌ها استفاده می‌شود. مزایای این نوع پیچ ایجاد فاصله دقیق بین قطعات و ایراد آن امکان ضربه به قطعات در سرعت بالا است[۸].

۳) پیچ تایمینگ شتاب‌دهنده[3] که طراحی آن به گونه‌ای است که با گام مارپیچ متفاوت بتواند سرعت حرکت قطعات را در ورود به ایستگاه سرهم‌بندی یا بسته‌بندی بعدی افزایش یا کاهش دهد. بنابراین مزایای این سازوکار تغییر سرعت کنترل‌شده و ایراد آن نیاز به دقت بالا در طراحی است[۸].

۴) پیچ تایمینگ با قابلیت ایجاد چرخش ۱۸۰ درجه‌ای[4] در قطعات که کاربرد آن در صنایع سرهم‌بندی و خطوط تولیدی است که در آن یا قطعه باید در موقعیت مشخصی قرار گیرد و یا نیاز به تغییر مسیر خط بسته‌بندی وجود دارد. مزایای آن تغییر مسیر دقیق قطعات و قرار دادن آن‌ها در موقعیت مشخص و ایراد آن پیچیدگی سازوکار و هزینه بالاتر است[۹].

۵) پیچ تایمینگ دو محوره[5] که در طراحی آن‌ها دو مسیر مجزا درون مارپیچ تعبیه شده که امکان جابه‌جایی دو قطعه متفاوت به صورت همزمان و با سرعت‌های متفاوت را فراهم می‌کند. بدیهی است پیچیدگی این نوع سامانه‌های انتقال قطعات، حساسیت طراحی قطعات را به شدت بالا می‌برد[۹].

در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی به بررسی بهینه‌سازی طراحی و عملکرد پیچ‌های تایمینگ به منظور افزایش کارایی و سازگاری آن‌ها در کاربردهای صنعتی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای توسط شرکت موریسون[6]، قابلیت‌های مختلف پیچ‌های تایمینگ، از جمله تغذیه، چرخش، مرتب‌سازی، تغییر سرعت و امکان تغییر جهت بررسی شده است. این قابلیت‌ها در فرآیندهایی نظیر پرکردن، درب‌بندی، شست‌وشو و درج کد ضروری است [۱۰]. یکی دیگر از پیشرفت‌های مهم در این حوزه، طراحی سامانه‌های خودکار برای اجرای فرآیند پرکردن صنعتی مایعات در داخل ظروف با استفاده از ادغام عملکرد حرکتی پیچ تایمینگ و چرخشی کنترل‌کننده‌های سروو[7] است. نتایج این مطالعه نشان داد که یکپارچه‌سازی این سامانه‌ها، دقت جابه‌جایی و سرعت فرآیند پرکردن ظروف را در مقایسه با سایر سازوکارهای موجود برای جابه‌جایی قطعات در طول خط بسته‌بندی، به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد[۱۱]. معدودی از تحقیقات نیز بر انتخاب مواد مناسب در ساخت پیچ‌های تایمینگ متمرکز بوده است. جنس پیچ‌های تایمینگ تأثیر مستقیمی بر دوام، عملکرد و کاربرد آن‌ها در محیط‌های صنعتی دارد. متداول‌ترین مواد مورد استفاده شامل فولاد ضدزنگ و پلیمرهای مهندسی باکیفیت بالا هستند که هر کدام بسته به شرایط عملیاتی و مشخصات محصول، مزایای خاصی ارائه می‌دهند[۱۲]. همچنین، مطالعات اخیر نشان می‌دهد که رشد فزاینده تقاضای بازار برای استفاده از پیچ‌های تایمینگ به ویژه در آمریکای شمالی به دلیل نیاز روزافزون به خودکارسازی، افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی خط بسته‌بندی و جابه‌جایی محصول در کارخانه است[۱۳]. ژونگ و ژانگ [۱۴] نشان دادند که استفاده از منحنی‌های نوآورانه بی- اسپلاین به جای کاربرد طراحی‌های سنتی رایج در تولید پیچ تایمینگ استاندارد می‌تواند مارپیچی ایجاد نماید که تابع سرعت آن بدون نوسان ناگهانی بوده و حرکت پایدارتر و بدون لرزشی را در جابه‌جایی قطعات مهیّا نماید.

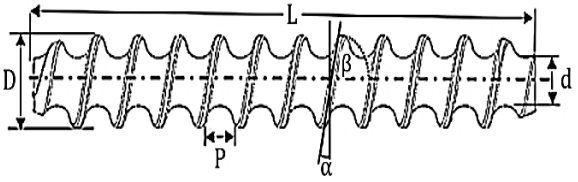
علی‌رغم اهمیت و گستردگی کاربرد پیچ‌های تایمینگ در صنایع مختلف در تحقیقات علمی و آکادمیک موجود در مراجع توجه چندانی به آن نگردیده است که علت این امر را می‌توان فناورانه[8] بودن موضوع و عدم تمایل صنایع به انتشار اطلاعات مرتبط دانست. در کشور ایران نیز نویسندگان، تحقیقاتی را به صورت میدانی با هدف شناسایی زیرساخت‌های داخلی تولید پیچ تایمینگ در میان تعدادی از واحدهای صنعتی فعال در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی، دارویی و آرایشی- بهداشتی که از ماشین‌آلات دارای سازوکار پیچ تایمینگ بهره می‌برند، انجام داد. جامعه مورد بررسی در این تحقیق شامل مدیران فنی و سرپرستان خطوط تولید در کارخانه‌هایی واقع در استان‌های تهران، اصفهان، البرز و فارس بود که به دلیل عدم افشای اطلاعات از نام آن‌ها صرفنظر می‌گردد. یافته‌های حاصل به وضوح تأیید نمود که تمام این صنایع، قطعه مذکور را به عنوان یک جزء اصلی در دستگاه بسته‌بندی، مستقیماً از شرکت سازنده ماشین‌آلات که عمدتاً شرکت‌های اروپایی یا چینی است، تأمین می‌کنند. مهم‌ترین دلایل اشاره شده برای این وابستگی، چالش‌های فنی در

[1] Standard Timing Screw
[2] Separating Timing Screw
[3] Acceleration Timing Screw
[4] 180-Degree Rotation Timing Screw
[5] Dual-Lead Timing Screw
[6] Morrison Container Handling
[7] Servo controller
[8] Technologic

طراحی و ساخت دقیق این قطعه برای هندسه‌های پیچیده یا انجام عملکردهای خاص نظیر چرخش و یا جابه‌جایی همزمان چند نوع قطعه، نیاز به ماشین‌آلات خودکار پیشرفته جهت ساخت پیچ تایمینگ و نیز تضمین عملکرد صحیح دستگاه بسته‌بندی وارداتی از طریق جایگزینی قطعه اصلی خارجی است. این وابستگی نه تنها موجب خروج ارز از کشور می‌شود، بلکه به دلیل زمان‌بر بودن فرآیند تأمین، در مواردی منجر به توقف طولانی‌مدت خطوط تولید و ایجاد خسارات اقتصادی قابل توجه می‌گردد. از این رو نویسندگان در این پژوهش، با در نظر گرفتن خلأ علمی موجود در منابع داخلی و بین‌المللی در طراحی و ساخت پیچ‌های تایمینگ سعی نموده تا روند کلی محاسبه، طراحی و ساخت یک پیچ تایمینگ با قابلیت‌های چرخش ۱۸۰ درجه‌ای و تغییر مسیر خط بسته‌بندی را که در ذات خود دارای چالش‌های فنی خاصی است، ارائه دهد. برای ساخت این سازوکار از جنس پلاستیک در این مقاله از فناوری[1] چاپ سه‌بعدی یا ساخت افزایشی[2] به روش تولید آزادنه با فیلامنت[3] که یکی از فناوری‌های پیشرو در صنعت ساخت قطعات با مشخصه‌های پیچیده هندسی است، استفاده گردید[۱۵]. لازم به ذکر است که در این تحقیق استفاده از روش ماشین‌کاری پیشرفته مبتنی بر دستگاه‌های کنترل عددی رایانه‌ای به دلیل محدودیت در ماشین‌کاری پلاستیک‌ها، نیاز به ابزارهای با فرم خاص برای ماشین‌کاری مسیر مارپیچ در پیچ تایمینگ و نیز تحمیل هزینه زیاد ماشین‌کاری عملاً در دسترس نبوده است.

۲- شاخص‌های طراحی پیچ تایمینگ

پیچ تایمینگ استاندارد از یک ساختار مارپیچی تشکیل شده که با استفاده از شیارهای دقیق و منطبق بر ابعاد قطعه موردنظر، آن‌ها را در طول مسیر هدایت می‌کند. از آنجا که، هندسه پیچ تایمینگ مستقیماً بر عملکرد، دقت و کارایی آن در خطوط تولید تأثیر می‌گذارد، عملکرد صحیح آن نیازمند شناسایی شاخص‌های اصلی طراحی است. شکل (۱)، نمایی از تصویر روبروی یک پیچ تایمینگ به همراه شاخص‌های مهم در طراحی آن را نشان می‌دهد.



شکل (۱): شاخص‌های موردنیاز در طراحی پیچ تایمینگ

با توجه به شکل (۱)، شاخص‌های موردنیاز برای طراحی هندسه پیچ تایمینگ شامل موارد زیر است:

۱- قطر خارجی پیچ تایمینگ (D): تعیین این شاخص تأثیر مستقیم بر جابه‌جایی قطعات داشته و در بسیاری از موارد براساس ارتفاع قطعه‌ای که حمل می‌شود باید مشخص گردد. همچنین، ابعاد هندسی سایر ملحقاتی که پیچ تایمینگ باید با آن‌ها سرهم‌بندی شود نیز در تعیین قطر خارجی آن اهمیت دارد.

۲- قطر داخلی یا قطر ریشه پیچ تایمینگ (d): از آنجا که، این شاخص تعیین‌کننده عمق شیارهای پیچ تایمینگ است، بنابراین، در طراحی آن باید به ابعاد قطعه‌ای که قرار است از طریق این سازوکار جابه‌جا شود، دقت نمود.

۳- طول پیچ تایمینگ (L): طول سازوکار بر حسب فاصله‌ای که نیاز است قطعات در طول مسیر با استفاده از پیچ تایمینگ جابه‌جا شده و یا فرآیند مشخصی مانند چرخش بر روی آن‌ها انجام گیرد، تعیین می‌شود.

۴- گام پیچ[4] (P): گام فاصله‌ای است که قطعه در یک دور کامل پیچ طی می‌کند و تابعی مستقیم از فاصله دو مارپیچ متوالی ایجاد شده بر روی پیچ تایمینگ است که در دقت حرکتی قطعات و تعداد مارپیچ‌های ایجاد شده بر روی محور اصلی تأثیر بسزایی دارد. گام پیچ تایمینگ از رابطه (۱) قابل محاسبه است و باید به گونه‌ای انتخاب شود که بتواند قطعه موردنظر را به راحتی در فضای شیاری شکل مارپیچ جا دهد.

$$P \times N = L \qquad (۱)$$

در این رابطه N، تعداد دندانه‌های پیچ تایمینگ و L طول پیچ تایمینگ است.

۵- زاویه مارپیچ (α): زاویه‌ای است که هر مارپیچ بر روی استوانه اصلی پیچ تایمینگ با محور قائم آن می‌سازد و می‌توان آن را از رابطه (۲) محاسبه نمود. همچنین، زاویه β در شکل (۱)، متمم زاویه α است.

$$Tg\,\alpha = \left(\frac{P}{\pi D}\right) \qquad (۲)$$

۶- نوع هندسه پروفیل[5] شیارها: این شاخص متناسب با شکل و ابعاد قطعه‌ای که در پیچ حرکت می‌کند، می‌تواند از پروفیل‌های منحنی شکل، مربعی، دایروی و یا وی- شکل استفاده نماید.

شاخص‌های فوق مواردی است که در طراحی پیچ تایمینگ‌های استاندارد که قبلاً به آن اشاره شده، مورد توجه قرار می‌گیرد. از آنجا

[1] Technology
[2] Additive Manufacturing (AM)
[3] Filament Freeform Fabrication (FFF)
[4] Pitch
[5] Profile

که، هدف این مقاله طراحی و ساخت یک پیچ تایمینگ با قابلیت چرخش ۱۸۰ درجه‌ای قطعات در عین تغییر مسیر همزمان در خط بسته‌بندی است، باید در کنار این سازوکار از ملحقات دیگری نیز استفاده نمود تا کار موردنظر را تسهیل نماید. طراحی این ملحقات در بسیاری از موارد ابتکاری بوده و تابع قانون مشخصی نیست اما، می‌توان به واسطه شبیه‌سازی حرکتی در رایانه آن‌ها را طراحی و محاسبه نمود.

۳- روش تحقیق

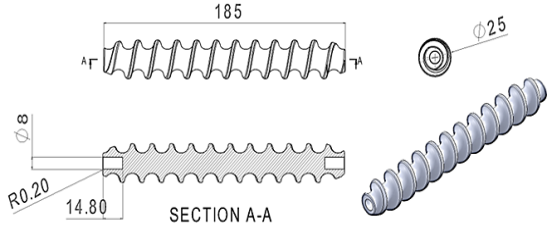
۳-۱- تعیین شاخص‌های طراحی پیچ تایمینگ

برای شروع طراحی پیچ تایمینگ، باید به ابعاد قطعاتی که قرار است توسط آن جابه‌جا گردد و طول نهایی پیچ تایمینگ برای سرهم‌بندی آن در مجموعه خط بسته‌بندی توجه نمود. در این تحقیق، شکل و ابعاد قطعه‌ای که باید توسط این سازوکار جابه‌جا گردد، به فرم استوانه‌ای با ارتفاع ۲۵ میلی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر تعیین گردید، طوری که این قطعه با ورود از یک مسیر ضمن جابه‌جایی در طول پیچ تایمینگ بتواند به میزان ۱۸۰درجه دوران یافته و از مسیر دیگر به حرکت خود ادامه دهد. همچنین، طول پیچ تایمینگ با توجه به نیاز به سرهم‌بندی آن در داخل مجموعه موردنظر برابر با ۱۸۵ میلی‌متر تعیین شد.

عموماً اندازه قطر خارجی در طراحی پیچ تایمینگ برای اطمینان از عملکرد تکیه‌گاهی مناسب آن در نگهداری قطعه در طول مسیر جابه‌جایی، حداقل برابر ارتفاع قطعه تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه ارتفاع قطعه موردنظر برای این طراحی ۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده، بنابراین، اندازه قطر خارجی پیچ تایمینگ نیز برابر با ۲۵ میلی‌متر تعیین شد، تا از مصرف مواد اولیه برای ساخت پیچ بزرگ‌تر جلوگیری کرده و هزینه تولید پیچ تایمینگ کاهش یابد. همچنین، برای تضمین موقعیت‌دهی صحیح قطعه در داخل شیار یا راه پیچ تایمینگ، عمق راه پیچ باید طوری انتخاب شود که بتواند بیش از نیمی از شعاع قطعه استوانه‌ای را در خود جای دهد. با توجه به اینکه قطر قطعه برای جابه‌جایی معادل ۱۰ میلی‌متر است، مقدار قطر ریشه پیچ تایمینگ برابر ۱۳ میلی‌متر مشخص گردید. با این محاسبات عمق شیار یا راه پیچ معادل ۶ میلی‌متر خواهد بود که از شعاع قطعه استوانه‌ای که ۵ میلیمتر است، ۱ میلی‌متر بزرگ‌تر است و به راحتی آن را در شیار پیچ تایمینگ مهار خواهد نمود.

از طرف دیگر، گام پیچ تایمینگ باید طوری طراحی گردد که در بسته‌ترین حالت معادل قطر استوانه‌ای انتخاب گردد که توسط پیچ انتقال داده می‌شود که در این صورت، مقدار کمینه گام پیچ برابر با ۱۰ میلی‌متر است. از آنجا که، کاهش گام به این مقدار سبب افزایش تعداد دندانه‌های پیچ تایمینگ می‌گردد، در این تحقیق مقدار گام پیچ براساس پیش‌فرض انتخاب دوازده دندانه برای پیچ تایمینگ از طریق رابطه (۱)، معادل با ۱۵/۴۱۷ میلی‌متر انتخاب شد.

این مقدار گام ضمن کاهش تعداد دندانه‌ها، انتقال راحت قطعات استوانه‌ای شکل را به آسانی و بدون بروز مشکلاتی نظیر گیر کردن قطعه در راه پیچ تایمینگ به دلیل کوچک بودن گام آن فراهم می‌آورد. با تعیین این شاخص‌ها، زاویه مارپیچ با جاگذاری در رابطه (۲)، به میزان ۱۱/۱۰ درجه مشخص گردید. شکل (۲)، نمایی از پیچ تایمینگ طراحی شده در این تحقیق را به همراه تعدادی از ابعاد نشیمنگاه نشان می‌دهد. در قسمت ابتدا و انتهای پیچ تایمینگ دو سوراخ مرکزی به قطر ۸ میلی‌متر ایجاد شد تا برای استقرار و سرهم‌بندی آن بر روی تکیه‌گاه‌های غلتشی واقع در دو طرف پیچ تایمینگ از پین استفاده گردد. با توجه به اینکه در این تحقیق هدف ارائه سازوکاری برای دوران ۱۸۰ درجه‌ای قطعات استوانه‌ای در طول پیچ تایمینگ است، باید توجه داشت پیچ تایمینگ طراحی شده پیچی استانداردی است که فقط می‌تواند به جابه‌جایی قطعه در طول محور مرکزی خود منجر شود. بنابراین، برای دوران ۱۸۰ درجه‌ای قطعات نیاز به طراحی ملحقاتی دیگری برای سرهم‌بندی با پیچ تایمینگ طراحی شده است.



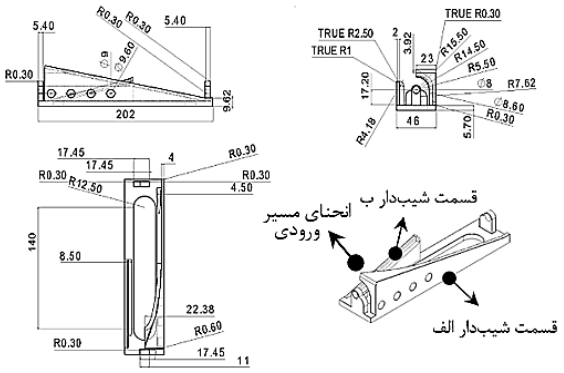
شکل (۲): پیچ تایمینگ طراحی شده در این تحقیق

۳-۲- طراحی نشیمنگاه و ملحقات برای سرهم‌بندی پیچ تایمینگ

طراحی نشیمنگاه و ملحقات برای اجرای چرخش ۱۸۰ درجه‌ای قطعه، فرایندی کاملاً ابتکاری است و در صورت عدم استفاده از نرم‌افزارهای خاص این مرحله به صورت آزمون و خطا انجام می‌گیرد. برای تعیین هندسه، طول و زاویه ملحقات در این تحقیق از نرم‌افزار طراحی سالیدورکس[1] و قسمت شبیه‌سازی حرکتی آن استفاده شد. فرآیند طراحی، اصلاح و تأیید نهایی در نرم‌افزار سالیدورکس انجام شده و با تأیید نتایج شبیه‌سازی حرکتی قطعه، ابعاد نهایی ملحقات و نقشه آن‌ها تهیه گردید. این ملحقات قطعات شیب‌داری هستند که وظیفه موقعیت‌دهی صحیح قطعه استوانه‌ای شکل را برای داشتن

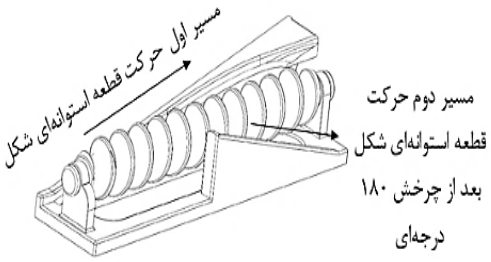
[1] Solid works

یک چرخش ۱۸۰ درجه‌ای بی‌نقص در زمان حرکت آن در طول پیچ تایمینگ در ضمن تغییر مسیر بر عهده دارند. به عبارت دیگر این ملحقات، همان مسیرهای بسته‌بندی ورودی و خروجی قطعه استوانه‌ای شکل در طی چرخش ۱۸۰ درجه‌ای است. در این تحقیق، ملحقات به صورت یکپارچه با بستر مجموعه‌ای که پیچ تایمینگ قرار است بر روی آن سرهم‌بندی شود، طراحی گردید. شکل (۳)، ملحقات طراحی شده برای پیچ تایمینگ و شکل (۴)، نمایی ایزومتریک[1] از مجموعه پیچ تایمینگ سرهم‌بندی شده را به همراه مسیرهای بسته‌بندی شیب‌دار ورودی و خروجی قطعه استوانه‌ای شکل نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده، برای چرخش ۱۸۰ درجه‌ای قطعه استوانه‌ای شکل از دو قسمت شیب‌دار استفاده شده که زاویه قسمت شیب‌دار (الف) که همان مسیر ورودی است، نسبت به افق برابر با ۱۱/۳۱ درجه و زاویه قسمت شیب‌دار (ب) که مسیر خروجی است نسبت به افق برابر با ۱۴/۷۶ درجه است. مسیر شیب‌دار (الف) دارای طول بیشتری است که قطعه از طریق آن در امتداد پیچ تایمینگ جابه‌جا شده و به تدریج زاویه تمایل آن به سمت پیچ تایمینگ افزایش می‌یابد تا با رسیدن قطعه به مکان موردنظر با چرخش ۱۸۰ درجه‌ای به مسیر خروجی بعدی منتقل شود. طبق شکل (۳)، در بخش انتهای مسیر ورودی، انحنایی زایده‌دار با زاویه شیب مضاعفی به سمت پیچ تایمینگ، ایجاد شده تا بتواند چرخش قطعات استوانه‌ای به سمت پیچ را تسهیل نماید. این بخش از مسیر در بالای پیچ تایمینگ و تا نصف قطر خارجی پیچ تایمینگ امتداد یافته و انتخاب مقادیر کمتر از این اندازه سبب عدم عملکرد صحیح پیچ تایمینگ خواهد شد. از طرف دیگر برای اطمینان از حرکت نرم و مناسب قطعه در قسمت شیب‌دار (ب) که مسیر خروجی است، میزان زاویه شیب ۲ تا ۳ درجه بیشتر از شیب اعمالی به مسیر ورودی انتخاب گردید.



شکل (۳): ملحقات و نشیمنگاه طراحی شده برای سرهم‌بندی پیچ تایمینگ (اندازه‌ها به میلی‌متر)

[1] Isometric view



شکل (۴): پیچ تایمینگ سرهم‌بندی شده بر روی ملحقات و نشیمنگاه

۳-۳- ساخت سازوکار طراحی شده

تمامی مجموعه‌های طراحی شده در این تحقیق، از جنس پلی‌لاکتیک اسید[2] که گرمانرمی[3] زیست تخریب‌پذیر است، تولید گردید. این ماده از منابع تجدیدپذیر مانند آرد ذرّت، نیشکر و نشاسته تهیه می‌گردد و در عین بی‌خطر بودن، آسیبی به انسان و محیط‌زیست وارد نمی‌نماید. برای ساخت قطعات نیز از روش ساخت افزایشی استفاده گردید و دو قطعه شامل پیچ تایمینگ و مجموعه نشیمنگاه و ملحقات، جداگانه به صورت سه‌بعدی پرینت شد. برای انجام این کار ابتدا شکل سه‌بعدی قطعات پیچ تایمینگ و مجموعه نشیمنگاه و ملحقات در نرم‌افزار سالیدورکس با فرمت اس-تی-ال[4] ذخیره شد. سپس شکل‌های سه‌بعدی به نرم‌افزار کیورا[5] که نرم‌افزاری واسطه است منتقل و بعد از موقعیت‌دهی آن‌ها و طراحی تکیه‌گاه فرآیند لایه‌لایه نمودن[6] شکل‌ها در این نرم‌افزار به انجام رسید. برای هر دو قطعه، ضخامت تمام لایه‌ها برای ساخت لایه به لایه، معادل ۱۰۰میکرومتر انتخاب گردید. فرآیند ساخت هر لایه از شکل‌های سه‌بعدی به روش تولید آزادانه با فیلامنت و در دستگاه پرینتر سه‌بعدی فیلامنتی Creality نوع Ender-3 V3 KE با قطر نازل ۰/۳ میلی‌متر و با فیلامنت مشکی رنگ انجام شد. برای اجرای فرآیند چاپ سه‌بعدی دمای نازل معادل ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد، دمای بستر برابر با ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت پرینت ۶۰۰ میلی‌متر بر ثانیه تعیین گردید.

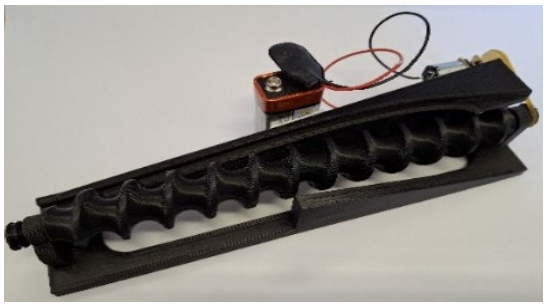
۴-۳- ارزیابی عملکرد سازوکار طراحی شده

برای ارزیابی عملکرد صحیح مجموعه سرهم‌بندی شده یک موتور کوچک با قابلیت ایجاد ۵۰دور در دقیقه و با تأمین انرژی از باطری بر روی آن سرهم‌بندی شد. همچنین، برای انتقال حرکت دورانی از موتور به پیچ تایمینگ از تسمه لاستیکی استفاده گردید.

[2] Polylactic acid (PLA)
[3] Thermoplastic
[4] Standard Tessellated Language (STL)
[5] Cura Software
[6] Slicing

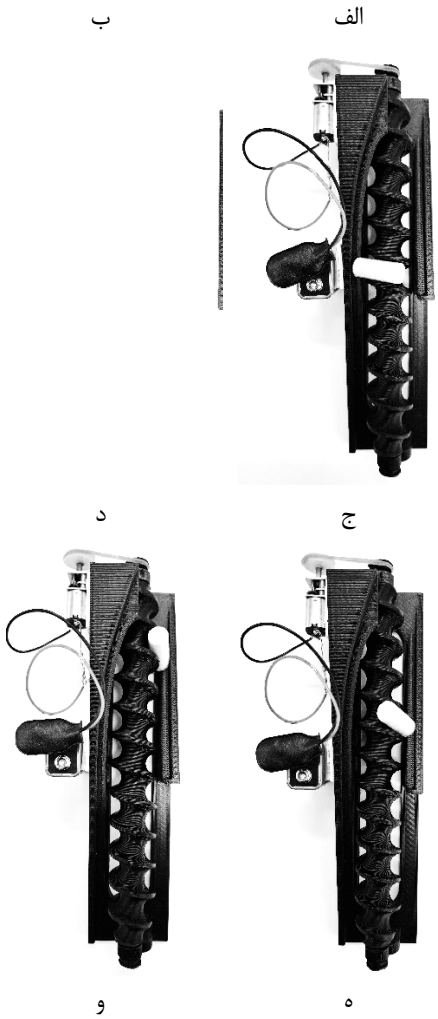
۴- نتایج و بحث

شکل (۵)، نمایی از پیچ تایمینگ تولید شده را که بر روی بستر و ملحقات سرهم‌بندی شده، در حالتی که از طریق تسمه به موتور چرخشی متصل است، نشان می‌دهد. ابعاد کلی مجموعه سرهم‌بندی شده در امتداد طولی به انضمام پین‌های مورد استفاده برای سرهم‌بندی پیچ تایمینگ در بیشترین حالت ممکن برابر با ۲۰۷ میلی‌متر و عرض سازوکار ۴۶ میلی‌متر و با ارتفاع بیشینه ۳۰ میلی‌متر است.



شکل (۵): سازوکار دارای پیچ تایمینگ با قابلیت چرخش ۱۸۰درجه‌ای و تغییر مسیر همزمان، تولید شده با ساخت افزایشی

برای ارزیابی عملکرد مجموعه طراحی شده قطعه‌ای استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۲۵ میلی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر توسط ساخت افزایشی و از جنس پلی‌لاکتیک اسید تولید شده و طبق شکل (۶- الف) در ابتدای قسمت شیب‌دار ورودی قرار داده شد. با اتصال موتور الکتریکی و آغاز به چرخش پیچ تایمینگ، قطعه استوانه‌ای بر روی قسمت شیب‌دار ورودی به تدریج بالا رفته (۶- ب) و با نزدیک شدن هر چه بیشتر به قسمت انحنای زایده‌دار در انتهای این مسیر از حالت قائم (شکل ۶- الف) به حالت مایل (شکل ۶- ج) بر روی پیچ تایمینگ قرار می‌گیرد. با بیشتر شدن شیب مضاعف در ناحیه انحنای زایده‌دار مطابق با شکل (۶- د) قطعه کاملاً بر روی پیچ تایمینگ سوار شده و با دوران پیچ تایمینگ و با چرخشی ۱۸۰ درجه بر روی قسمت شیب‌دار خروجی منتقل می‌گردد (شکل ۶- ه). با توجه به اینکه شیب مسیر خروجی تندتر از شیب مسیر ورودی و بیشتر از آن طراحی شده قطعه استوانه‌ای شکل با ادامه چرخش پیچ تایمینگ به آرامی بر روی شیب مسیر خروجی پایین آمده (شکل ۶- و) و می‌تواند به مسیر خود در خط بسته‌بندی دیگر ادامه دهد. بررسی مسیر و تکرار چندین‌باره این کار، دقت عملکرد مجموعه طراحی شده را تأیید می‌نماید. به عبارت دیگر، فرآیند تعیین شاخص‌های طراحی، رسم شکل‌های سه‌بعدی هندسی، سرهم‌بندی شکل‌های رایانه‌ای و نیز شبیه‌سازی حرکتی آن‌ها در محیط نرم‌افزاری، صحت انجام دقیق فرآیند را تضمین نموده است. نکته دیگر در ساخت این سازوکار، دقت ابعادی قطعات تولیدی به دلیل حساسیت‌های ابعادی و هندسی در فرآیند سرهم‌بندی است. این امر به واسطه کاربرد فناوری ساخت افزایشی و پرینت لایه‌ها با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر موجب حصول به دقت مطلوب و کیفیت سطح مناسب در قطعات تولیدی گردیده است که می‌تواند قابلیت فناوری ساخت افزایشی را برای تولید چنین سازوکارهایی به اثبات برساند.



شکل (۶): جابه‌جایی قطعه استوانه‌ای برای تغییر مسیر با چرخش ۱۸۰ درجه‌ای توسط سازوکار پیچ تایمینگ

به منظور بررسی کیفیت سطوح قطعات تولیدی با ساخت افزایشی، به دلیل یکسان بودن جهت ساخت و شاخص‌های آن در تمام قطعات سازوکار طراحی شده، فقط مجموعه الحاقات و بستر که به عنوان یک قطعه یکپارچه تولید شده است مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از دستگاه زبری سنج ماهر [1] با طول کات آف ۷ میلی‌متر استفاده شده و مقدار زبری سطح میانگین در امتداد راستای لایه‌گذاری‌ها سنجیده شد.

برای بیان زبری سطح میانگین، این آزمایشات در هفت قسمت مختلف از قطعه مزبور انجام گردید و نتیجه نهایی به صورت میانگین اندازه‌گیری‌ها ذکر شد. نتایج نشان داد که زبری سطح میانگین قطعه تولید شده برابر با ۵/۳۴ میکرومتر است که بر طبق استاندارد ایزو شماره ۱۳۰۲ و اعداد درجه زبری [2] مشخص شده در این استاندارد، عدد به دست آمده در محدوده اعداد زبری N8 تا N9 قرار دارد. با توجه به نزدیکی عدد زبری سطح متوسط به عدد درجه زبری N9 می‌توان دریافت زبری متوسط سطح عدد قابل قبولی است که عملکرد صحیح سازوکار طراحی شده نیز بر این موضوع صحه می‌گذارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به فرآیند طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد یک سازوکار پیچ تایمینگ برای انتقال قطعات استوانه‌ای شکل با قابلیت دوران ۱۸۰ درجه‌ای جهت جابه‌جایی بین دو مسیر متمایز پرداخته شد. ابتدا شاخص‌های اصلی طراحی پیچ تایمینگ با توجه به شکل و هندسه قطعه‌ای که باید جابه‌جا می‌گردید، تعیین شد. از آنجایی که، نتیجه طراحی انجام شده حصول به یک پیچ تایمینگ استاندارد است که فقط قابلیت ایجاد جابه‌جایی خطی در قطعات را داراست، الحاقاتی به آن افزوده شد تا قابلیت چرخش ۱۸۰ درجه‌ای قطعات نیز در ضمن تغییر مسیر ایجاد گردد. برای اطمینان از طراحی انجام شده، تمامی حرکات و عملکرد مجموعه در یک نرم‌افزار رایانه‌ای شبیه‌سازی شد. با تعیین اندازه‌های نهایی پیچ تایمینگ و مجموعه الحاق شده به آن، فرایند ساخت آن‌ها از جنس پلی‌لاکتیک اسید به روش ساخت افزایشی انجام گردید. در انتها، بعد از سرهم‌بندی قطعات برای ارزیابی عملکرد واقعی مجموعه ساخته شده یک موتور الکتریکی بر روی آن سرهم‌بندی شد. نتایج آزمایشات عملی نشان‌دهنده عملکرد مناسب سازوکار مزبور برای جابه‌جایی، چرخاندن و تغییر مسیر بین خطوط بسته‌بندی در قطعات استوانه‌ای شکل است. همچنین، نتایج ارزیابی زبری سطح میانگین، کیفیت سطوح تولید شده را مناسب ارزیابی نمود که به عنوان عامل مهمی در عملکرد صحیح سازوکار طراحی شده محسوب می‌گردد.

۶- مراجع

[1] B. Nowruzi, and H. Beiranvand, "A Review on the Packaging of Dairy Products with Extracts and Pigments of Cyanobacteria and Microalgae," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 15(58), pp. 47-62, 2024, DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.57.5.4 (In Persian).

[2] S. Faraji Kafshgari, M. J. Akbarian Meymand, and M. Habibi Najafi, "Investigating Types of Antimicrobial Packaging Systems," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 14(56), pp. 63-78, 2024, DOR: 20.1001.1.22286675.1402.14.56.6.6 (In Persian).

[3] A. Eskandary, N. Ramezani Matin, S. Seif, and M. Pajohi Alamoti, "A Review of Developments on Food Packaging Industry and its Novel Methods," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 14(53), pp. 17-33, 2023, DOR: 20.1001.1.22286675.1402.14.56.6.6 (In Persian).

[4] S. Dodangeh, S. Amiri, and L. Rezazad Bari, "A Review of Different Types of Active Packages, Mechanism and their Application in Food Industry," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 11(44), pp. 80-90, 2021, DOR: 20.1001.1.22286675.1399.11.44.7.2 (In Persian).

[5] A. Emblem, and H. Emblem, "Packaging Technology: Fundamentals, materials and processes," Woodhead Publishing, 2012.

[6] S. DuPuis, and J. Silva, "Package design workbook: The art and science of successful packaging," Fair Winds Press, 2011.

[7] D. K. Sarkar, "Packaging technology and engineering: pharmaceutical, medical, and food applications," John Wiley & Sons, 2020.

[8] G. Boothroyd, "Assembly automation and product design," CRC Press, 2005.

[9] A. Hossain, N. D. Sharma, and G. Agarwal, "Developing Servo Indexing System Using Timing Screw for Automatic Liquid Filler in Manufacturing Environment," In ASEE Annual Conference & Exposition, 2016.

[10] Morrison Container Handling Solution, "The Essential Role of Timing Screws in Packaging Equipment," https://blog.morrison-chs.com/en/blog/the-essential-role-of-timing-screws-in-packaging-equipment, 2025.

[11] H. Akram, N. Das Sharma, and G. Agarwal, "Developing Servo Indexing System Using Timing Screw for Automatic Liquid Filler in Manufacturing Environment," ASEE 123rd Annual Conference & Exposition, 2016.

[12] CCS International, "The List of Most Common Materials Used by Timing Screws Manufacturers," https://cssintl.com/common-materials-in-timing screws?utm_source=chatgpt.com, 2025.

[13] QY Research, "Global Timing Screws Market Research Report 2024," https://www.qyresearch.com/reports/3132183/timing-screws?utm_source=chatgpt.com, 2024.

[14] C.Q. Zhong, and Y.L. Zhang, "Design and analysis of timing screw based on B-spline curve," Applied Mechanics and Materials, vol. 602, pp. 511-516, 2014.

[15] A. Avaz Sufyian, and S. M. Jafari, "The Application of New 3D Printing Technology in the Food Industry," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 10(38), pp. 78-88, 2019, DOR: 20.1001.1.22286675.1398.10.38.7.3 (In Persian).

[1] MarSurf PS1
[2] Roughness Grade Numbers