Journal of Iranian Architecture & Urbanism
(JIAU)
Homepage: https://www.isau.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Form finding and construction of 2d and 3d adaptive free-form scissor-like structure*

Yaser Shahbazi [1,**], **Hanieh Kouchaki** [2]

[1] *Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and environmental Design, Islamic Art University of Tabriz, Tabriz, Iran.*
[2] *M.A. in Architectur, Department of Architecture, Faculty of Architecture and environmental Design, Islamic Art University of Tabriz, Tabriz, Iran.*

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/04/13
Revised 2021/06/27
Accepted 2021/10/06
Available Online 2023/08/06

Keywords:

Adaptive Structure
Scissors Structure
Structure Controlling
Sensor
Actuator

Use your device to scan and read the article online

Number of References
33

Number of Figures
12

Number of Tables
3

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: The aim of this study is to explore the design, construction, and control of adaptive free-form shading structures that can react to changes in light levels. The focus is on developing a transformable scissor-like structure capable of changing geometry to achieve controlled forms. The key objective is to create an adaptive shading device for a specific courtyard, considering factors such as human interaction, relaxation, and optimal shading conditions.

METHODS: The study employed a parametric design approach, utilizing digital tools such as Rhino software and Grasshopper plugin. The design process involved identifying influential environmental factors, defining control objectives, and simulating daylight receiving conditions using the Ladybug plugin. Different forms with varying support points were proposed and evaluated based on aesthetics, shading levels, and site constraints. In this method, the desired free-form surface is initially drawn. Then, the Iso-curves of the surface are extracted along the horizontal and vertical directions to obtain a mesh network of the surface. This mesh network is transformed into a three-dimensional spatial mesh structure, and finally, all the lines of this network are converted into scissor-like modules. It is worth noting that besides using horizontal and vertical Iso-curves, it is also possible to extract inclined, triangular, pentagonal, and multi-sided networks from the free-form surface. Through this approach, various double-layer networks with diverse multi-sided modules can be transformed into scissor-like structures. In the next step, special connections, including rod connections within each scissor-like unit and connections between neighboring units, were designed and labeled for laser cut wood. Control connections were introduced to enable deformation within the fixed span of the structure. The modified scissor-like element model by Akgun was utilized, allowing individual substructures to change independently. Arduino, a microcomputer chip, has gained considerable interest in architecture because of its user-friendly nature and its ability to work seamlessly with a range of sensors and controllers. It facilitates the creation of smart devices by taking input from sensors and switches and producing diverse responses, like modifying light levels, adjusting motor speeds, and controlling other outputs. Arduino can function autonomously or be linked to a computer, and it can be programmed using software such as Arduino's own IDE or the Grasshopper plugin in Rhino. In terms of controllers, there are various options available, including pneumatic jacks, shape-changing smart materials like shape memory alloys, piezoelectric elements, and electromechanical motors. Servo motors, in particular, are commonly used controllers, especially in small-scale model-making, as they can create rotational motion based on the input voltage received from microcontrollers.

FINDINGS: Through simulations and analysis, it was found that among the alternatives mentioned in this article, a three-support-point canopy offered the most favorable inactive option, delivering the desired shading conditions for more hours throughout the year. This finding validated the effectiveness of the proposed design approach and

© 2023, JIAU. All rights reserved.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2023.278337.1671

OPEN ACCESS

* This article is derived from the second author`s master thesis entitled "Form finding, construction and geometric control of adaptive freeform scissor-like structures", supervised by the first author, at Islamic Art University of Tabriz.

** Corresponding Author:
Email: *y.shahbazi@tabriziau.ac.ir*
Phone: +98(912)3084072

Extended ABSTRACT

highlighted the potential for achieving passive shading without relying heavily on active control. The laboratory-scale prototype demonstrated the feasibility of the adaptive shading model. Sixteen servo motors were connected to eight corrective units, allowing for changes in the angle between rods and structural deformation. Light sensors, Arduino kits, and a closed-loop control system facilitated the processing of sensor data and commanded the servo motors. The prototype successfully achieved controlled structural deformation in response to the presence or absence of sunlight.

CONCLUSION: The study presented a comprehensive framework for the design, simulation, and construction of adaptive and controllable free-form scissor-like structures. The research showcased the potential of digital architecture and embedded systems in creating dynamic and responsive solutions. By combining sensors, central processing units, and controllers, the suggested design for a shading system allowed for the adjustment of its shape in response to environmental conditions, particularly the movement of sunlight. The findings underscored the significance of considering both passive and active design strategies. While passive geometry and form optimization played a crucial role in achieving desired shading, active control mechanisms provided flexibility and adaptability to changing conditions. The study emphasized the importance of carefully selecting the form, placement of corrective modules, and incorporating various sensors to enhance the capabilities of such structures. In conclusion, this research contributes to the growing field of digital architecture by providing insights into the design and implementation of adaptive shading device. The proposed framework and the laboratory-scale prototype demonstrate the potential for creating adaptive and responsive architectural solutions that seamlessly integrate with their surrounding environment. Future research can explore additional sensors, materials, and control strategies to further enhance the adaptability and functionality of such structures in diverse architectural contexts.

.....

HIGHLIGHTS:

- Parametric form-finding of freeform scissor-like structures and simulation of daylight reception.
- Modeling and construction of a small-scale freeform scissor-like shading device.
- Design and implementation of active control for freeform scissor-like structure to maximize shading.

ACKNOWLEDGMENTS:
This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-forprofit sectors.

CONFLICT OF INTEREST:
The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

HOW TO CITE THIS ARTICLE
Shahbazi, Y.; Kouchaki, H., (2023). Form finding and construction of 2d and 3d adaptive free-form scissor-like structure. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism*., 14(1): 211-224.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2023.278337.1671
https://www.isau.ir/article_176306.html

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران. دوره ۱۴. شماره ۱. صفحات ۲۲۴-۲۱۱. بهار و تابستان ۱۴۰۲

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران
(JIAU)
https://www.isau.ir/

مقاله علمی- پژوهشی

فرم‌یابی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سازه‌های قیچی‌سان فرم‌آزاد تطبیقی *

یاسر شهبازی [۱و**]، حانیه کوچکی [۲]

۱. دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران.
۲. کارشناس ارشد معماری گرایش فناوری دیجیتال، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

مشخصات مقاله

تاریخ ارسال ۱۴۰۰/۰۱/۲۴
تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۷/۱۴
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

واژگان کلیدی

سازه‌ی تطبیقی
سازه‌ی قیچی‌سان
کنترل سازه
حسگر
کنترل‌گر

چکیده

سازه‌های تطبیقی با یکپارچه‌سازی سه بخش اصلی حسگر، پردازشگر مرکزی و کنترل‌گر، خود را با تغییرات محیطی منطبق می‌سازند. برای مدلی از انطباق با تغییرات محیطی که حرکت کل یا بخشی از سازه را می‌طلبد می‌بایست سیستم‌های سازه‌ای مناسبی ارائه شده تا قابلیت حرکت و گسترش‌پذیری را فراهم سازند. هدف اصلی مقاله‌ی حاضر فرم‌یابی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سازه‌ی قیچی‌سان فرم‌آزاد است که با به‌کارگیری آن بتوان سایبان تطبیقی نسبت به تغییرات تابش نور روز با قابلیت ایجاد سایه‌اندازی مطلوب بهنگام برای کاربر تولید نمود. سؤال اصلی تحقیق آنست که چگونه می‌توان با الحاق عناصر جنبی و یا المان‌های جدید به اجزاء سازه‌ی قیچی‌سان متداول که از دیدگاه کنترلی غیرفعال هستند، نحوه‌ی گسترش‌پذیری را در پاسخ به تغییر حرکت خورشید کنترل نموده و به یک سازه‌ی قیچی‌سان تطبیقی دست یافت؟ از این‌رو ابتدا سطح فرم‌آزاد یک سایبان و شرایط تکیه‌گاهی آن با توجه به نیاز کاربر و شرایط محیطی فرم‌یابی شده و سپس با استخراج منحنی‌های همتراز سطح، مدل خطی از مسیرهای گسترش سازه‌ی قیچی‌سان فرم‌آزاد تعیین گردید. سایبان فرم‌آزاد در افزونه‌ی پارامتریک گرس‌هاپر و پلاگین فایرفلای و همچنین به کمک نرم‌افزار آردوینو جهت برقراری ارتباط بین حسگرهای نوری، کیت آردوینو به عنوان پردازشگر و سرو-موتور به عنوان کنترل‌گر شبیه‌سازی شده است. سپس یک مدل آزمایشگاهی در مقیاس ۱ به ۲۰ ساخته شده و عملکرد کنترلی مطلوب سازه‌ی قیچی‌سان تطبیقی نسبت به حرکت خورشید از طریق تغییر فرم آن به صورت تغییر خیز در دهانه‌ی ثابت سایبان نشان داده شده است.

نکات شاخص

- فرم‌یابی پارامتریک سایبان‌های قیچی‌سان فرم آزاد و شبیه‌سازی دریافت نور روز .
- مدل‌سازی و ساخت کوچک مقیاس از سایبان قیچی‌سان فرم آزاد.
- طراحی و پیاده‌سازی کنترل فعال سازه‌ی قیچی‌سان فرم آزاد جهت بیشینه‌سازی سایه‌اندازی.

نحوه ارجاع به مقاله

شهبازی، یاسر و کوچکی، حانیه. (۱۴۰۲). فرم‌یابی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سازه‌های قیچی‌سان فرم‌آزاد تطبیقی، *نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱۴(۱)، ۲۱۱-۲۲۴.

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم با عنوان «فرم‌یابی و پیاده‌سازی سازه قیچی‌سان متحرک دو و سه بعدی فرم‌آزاد و کنترل‌پذیر» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده نخست در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

** نویسنده مسئول
تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۳۰۸۴۰۷۲
پست الکترونیک: y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

مقدمه

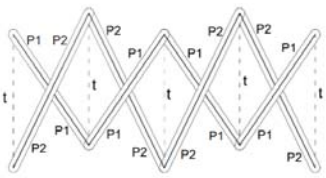
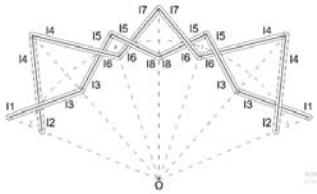
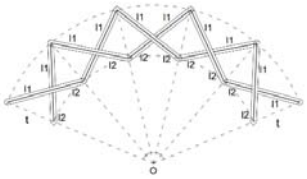
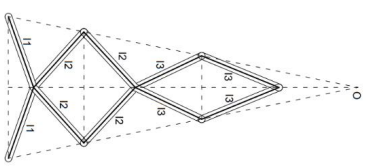
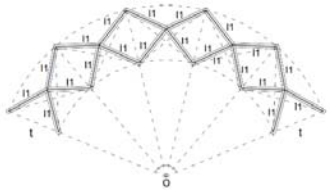
در طول چند قرن اخیر، سازه‌هایی تحت عنوان سازه‌های گسترش‌پذیر توسط مهندسان ارائه شده است. آنها گسترش‌پذیری را در قسمت‌هایی از ساختمان مانند سقف، دیوار و ... و یا ساخت برخی وسایل در مقیاس بزرگ مانند آنتن‌های فضایی پیاده‌سازی کردند. این سازه‌ها که قادر به تغییرشکل و یا تغییر خواص فیزیکی و مکانیکی خود در اثر تغییرات خارجی هستند، معماری جدیدی را معرفی ساخته که از قابلیت تغییرشکل به منظور استفاده‌ی بهتر از انرژی‌های طبیعی بهره‌برداری نموده و بتواند فضاهای بهتری را برای کاربر فراهم آورد.

پیشینه پژوهش

در اوایل دهه‌ی نود، هابرمن واحدهای قیچی سان زاویه‌دار را ابداع نمود (Hoberman, 1990, 1991)، که به آن‌ها واحدهای هابرمن نیز اتلاق می‌شود. در ادامه یو و پلگرینو ایده‌ی المان‌های چند زاویه‌ای را مطرح نمودند که در آن هر میله دارای چندین زاویه‌ی خم است. در این ایده المان‌های زاویه‌دار تعمیم یافته اجازه تولید سازه‌های غیر دایره‌ای را فراهم می‌سازد (Kassabian et al.,1997: 52). کای و همکاران حرکت‌پذیری المان‌های زاویه‌دار تعمیم یافته را آنالیز و بررسی نمودند (Cai at al., 2014: 257). راورز و تمرمن طراحی هندسی قیچی سان با واحدهای انتقالی و قطبی را بررسی نموده‌اند (Roovers & Temmerman, 2017:a:46, b:231). علاوه بر هندسه‌ی دوبعدی، سازه‌های قیچی سان سه‌بعدی را نیز می‌توان در انواع فرم‌های خطی، شبکه مسطح، شبکه تک انحنایی یا شبکه با انحنای دوگانه‌ی و کره‌ی هابرمن[۶] تولید نمود. جنسن نشان داد که می‌توان المان‌های زاویه‌دار را حذف و با صفحاتی جایگزین نمود که محل لولای قیچی سان همان محل اصلی در سازه‌ی میله است (Jensen, 2004: 2). در ادامه همین روش، جنسن و پلگرینو سازه‌های حبابی را طراح نمودند (Jensen & Pellegrino, 2004: 154). اسکرینگ ضمن ارائه شرایط هندسی برای گسترش‌پذیری اظهار نمود که چگونه سازه‌های سه‌بعدی می‌توانند با جایگزین کردن واحدهای قیچی سان در چند جهت در یک شبکه به دست بیایند. مدل‌های هندسی فراوانی توسط اسکرینگ پیشنهاد شده است که بر پایه شبکه‌های دو و سه‌سویه و از نوع بدون منحنی، تک انحنا و یا با انحنای دوگانه هستند (Temmerman, 2007: 15). گانتس یک رویکرد طراحی هندسی برای شبکه‌های مسطح، شبکه‌های منحنی و سازه‌هایی با هندسه‌ی دلخواه را مطرح نمود. نقطه‌ی عطف تحقیقات بر روی طراحی سازه‌های قیچی سان سه‌بعدی را می‌توان در تحقیقات کلوین و تمرمن یافت (Roovers and Temmerman, 2017: 46). آن‌ها مدول جدیدی را برای سازه‌های سه‌بعدی قیچی سان ارائه کردند که ضمن آنکه با هر سه واحد انتقالی، قطبی و زاویه‌ای قابلیت ساخت دارند، با اتصال این واحدها به صورت یک فرم بسته به یکدیگر می‌توان انواع سازه‌های قیچی سان سه‌بعدی فرم آزاد را تولید نمود. انواع سازه‌های قیچی سان دو و سه‌بعدی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

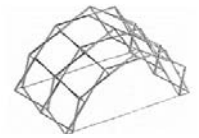
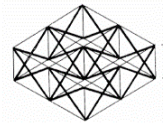
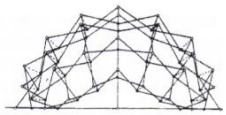
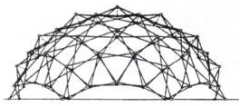
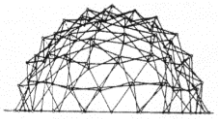
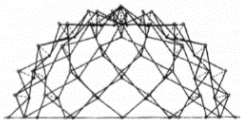
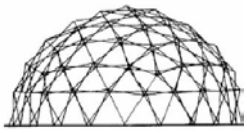
در این مقاله فرم‌یابی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سایبان‌های تطبیقی در برابر تغییرات نور روز با قابلیت ایجاد سایه‌اندازی مطلوب و به هنگام انجام شده است. در گام نخست، سازه‌های قیچی سان سه‌بعدی فرم‌آزاد و دو روش کلی برای فرمیابی آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به سازه‌های قیچی سان تغییر فرم‌پذیر با تغییر خیز در دهانه ثابت دیتیل جدیدی برای سازه‌ی قیچی سان سه‌بعدی معرفی شده است. سپس، مفاهیم

Table 1. 2D Scissor-like structures

Scissor-like structures derived from translational units		
Scissor-like structures derived from polar units		
Scissor-like structures derived from angulated units		

Maden et al., 2011

Table 2. 3D Scissor-like structures

Scissor-like structures presented by Escring	 Cylindral barrel vault with polar units	 Planar two-way grid with translational units	 Two-way spherical grid with identical polar unit
	 Three-way spherical grid with identical polar unit	 Geodesic dome with polar unit	 Lamella dome with identical polar unit
Scissor-like structures presented by Gantes	 Geodesic dome	Elliptical arch	

Temmerman et al., 2007: 15&18

سازه‌های کنترلی و حلقه‌ی بسته کنترل در نگاه عام با سه بخش اصلی حسگر، پردازش‌گر مرکزی و کنترل‌گر تشریح شده‌اند. در نهایت شبیه‌سازی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سایبان‌های تطبیقی در قالب یک مدل آزمایشگاهی در مقیاس ۱ به ۲۰ به همراه حسگر نوری، پردازش‌گر مرکزی کیت آردوینو و کنترل‌گر سرو- موتور ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی‌های عددی و رفتار مدل آزمایشگاهی بر تطبیق‌پذیری مناسب مدل دلالت دارد.

مبانی نظری

گسترش‌پذیری در سازه‌ها می‌تواند از طریق مدول‌های صلب یا انعطاف‌پذیر صورت گیرد. این سازه‌ها را می‌توان بر اساس سیستم سازه‌ای به چهار گروه اصلی سازه‌های میله‌ای فضایی یا پانتوگراف[۲]؛ سازه‌های صفحات تاشونده؛ سازه‌های هوافشرده و سازه‌های غشایی تقسیم نمود (Werner & DeMarco, 2013: 14,15). گسترش‌پذیری پانتوگراف‌ها و صفحات تاشونده از طریق مدول‌های صلب و در سازه‌های هوافشرده و غشایی از طریق مدول‌های انعطاف‌پذیر صورت می‌گیرد. در این میان، سازه‌های گسترش‌پذیر بر پایه‌ی واحدهای قیچی سان رایج‌ترین شکل مورد استفاده در معماری است (Langbecker, 1999: 1; Rosenfeld, Logcher, 1988: 21; Escrig et al, 1996: 42; Gantes, Konitopoulou, 2004: 5518). سازه‌های قیچی‌سان به سازه‌های گسترش‌پذیر پانتوگراف، شامل میله‌بندی سینماتیکی واحدهای قیچی سان تعلق دارد. سازه‌های قیچی سان به دلیل خصوصیت فشرده در مرحله برچیدن و توسعه در مرحله‌ی عملکردی و اینکه سازه‌هایی سبک، متحرک و موقت هستند، برای کاربردهای وسیعی در معماری و طراحی صنعتی ساخته می‌شوند (Alegria Mira et al., 2014: 123; Gantes, 2001: 2; Bern- hardt et al., 2008: 10; Buhl et al., 2004: 1227 ; De Temmer- man, 2007: 4; Roovers, 2017:5;). فرم‌یابی این سازه‌ها به دو روش کلی ترسیم هندسی یا استخراج روابط ریاضیاتی واحد پایه صورت می‌گیرد. هر واحد قیچی‌سان از دو میله تشکیل می‌شود که در میانه‌ی خود توسط لولای قیچی‌سان به یکدیگر متصلند و امکان چرخش آزاد حول محور نرمال صفحه‌ی واحد قیچی‌سان را دارند (Friedman et al., 2011: 90).

خطوط فرضی که گره‌های فوقانی و تحتانی را در دو طرف واحد قیچی‌سان به یکدیگر متصل می‌کنند، خطوط واحد نامیده می‌شوند. برای واحدهای قیچی‌سان با میله‌های مستقیم، در صورت موازی بودن خطوط واحد، واحدهای انتقالی[۳] و در صورت متقاطع بودن خطوط واحد، واحدهای قطبی[۴] شکل می‌یابد. در صورت تشکیل واحدهای قیچی‌سان از میله‌های زاویه‌ای و متقاطع بودن خطوط واحد، واحدهای زاویه‌دار[۵] بوجود می‌آیند. ژائو و همکاران پله‌ی تاشونده‌ای ارائه کرده‌اند که شامل تعدادی از المان‌های قیچی‌سان یکسان است (Zhao et al., 2011: 2, 2012: 3).

روش پژوهش

با پیشرفت تکنولوژی، طراحان و معماران به دنبال راهکاری برای پاسخ‌گویی و تطبیق‌پذیری سازه‌های خود نسبت به تغییرات فیزیکی محیطی هستند. بر خلاف تفکرات سنتی در مورد سازه‌ها به عنوان سیستم‌های ساکن، معماران در نگرش جدید معماری تطبیقی، کنترل‌پذیر، پاسخگو و یا هوشمند به دنبال طراحی و ساخت سازه‌هایی هستند که ضمن حفظ تعادل و پایداری، بتوانند در هر لحظه نسبت به تغییرات فیزیکی خارجی از جمله کرنش‌های سازه‌ای، تغییر حرارت، رنگ و دیگر اغتشاشات خارجی از خود واکنش نشان داده و با صرف کمترین هزینه و انرژی خود را با اغتشاشات ایجاد شده تطبیق دهند. در این پژوهش با مطالعه‌ی سازه‌های قیچی‌سان به عنوان ساده‌ترین سیستم

گسترش‌پذیر و با استفاده از روش شبیه‌سازی عددی، فرم‌یابی و ساخت سایبان‌های تطبیقی مورد بررسی قرار گرفتند. هدف اصلی پژوهش پیشنهاد روشی کاربردی برای فرم‌یابی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سازه‌ی قیچی سان فرم‌آزاد است که با استفاده از آن بتوان یک سایبان تطبیقی نسبت به تغییرات تابش نور روز با قابلیت ایجاد سایه‌اندازی مطلوب و بهنگام برای کاربر تولید نمود. برای پیشبرد این پژوهش، در کنار تبیین روش و گام‌های مورد نیاز از فرم‌یابی تا ساخت سایبان تطبیقی، کنترل و تطبیق هندسه‌ی یک نمونه‌ی موردی با مقیاس ۱ به ۲۰ نیز پیاده‌سازی شده است که در بخش‌های بعدی به‌طور مفصل توضیح داده خواهد شد. در این پژوهش سؤال اصلی آنست که چگونه می‌توان از یک سو با الحاق عناصر جنبی حسگر، پردازشگر مرکزی و کنترل‌گر و تشکیل حلقه‌ی بسته کنترل، و از سوی دیگر با اصلاح یا الحاق المان‌های جدید به سازه‌ی قیچی سان غیرفعال، گسترش‌پذیری سازه را در پاسخ به تغییرات فیزیکی خارجی کنترل نموده و به یک سایبان قیچی سان فرم‌آزاد تطبیقی دست یافت؟ نوآوری‌های پژوهش عبارتند از فرم‌یابی و ساخت سازه‌ی قیچی سان فرم‌آزاد؛ ارائه مدل تطبیقی سازه؛ ساخت مدل تجربی از یک سایبان تطبیقی با تغییرات نور روز.

سازه‌های قیچی سان فرم آزاد

بسیاری از مدل‌های هندسی برای ساختارهای قیچی‌سان در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است، با این حال بیشتر آن‌ها مبتنی بر اشکالی با انحنای نسبتاً ساده، مانند یک کره یا یک استوانه هستند. در پی یافتن اشکال جدید، تحقیقاتی انجام شده تا اصول ریاضی را در قیچی سان زاویه‌ای وارد نموده و نشان دهند که این نوع قیچی‌ها پتانسیل زیادی برای هندسه‌های نو و فرم آزاد دارند (Kel-vin Roovers L. A., 2013: 1). به‌طور کلی دو روش برای دستیابی به سازه‌های قیچی سان سه‌بعدی فرم‌آزاد ارائه شده است. روش اول مبتنی بر طراحی سازه از طریق تبدیل صفحه‌ی فرم آزاد دلخواه به سازه‌ی قیچی‌سان و روش دوم بر دستیابی سازه‌ی فرم آزاد قیچی‌سان بر مبنای مکانیسم‌های مختلف میله‌بندی متکی است.

طراحی هندسی

در این روش، ابتدا صفحه‌ی فرم‌آزاد موردنظر ترسیم می‌شود. سپس منحنی‌های همتراز[۸] آن در راستای افقی و عمودی استخراج شده تا یک شبکه‌ی مش از صفحه بدست آید. این شبکه‌ی مش‌بندی به یک سازه‌ی مشبک فضایی سه‌بعدی تبدیل شده و در نهایت، تمامی خطوط این شبکه، به مدول‌های قیچی سان تبدیل می‌شوند. لازم به ذکر است که می‌توان بجای استفاده از منحنی‌های همتراز افقی و عمودی، شبکه‌های مورب، سه ضلعی، پنج ضلعی و چندضلعی نیز از صفحه‌ی فرم آزاد استخراج نمود. در شکل ۱، مراحل روش طراحی برای تولید قیچی سان فرم آزاد سه‌بعدی نشان داده شده است.

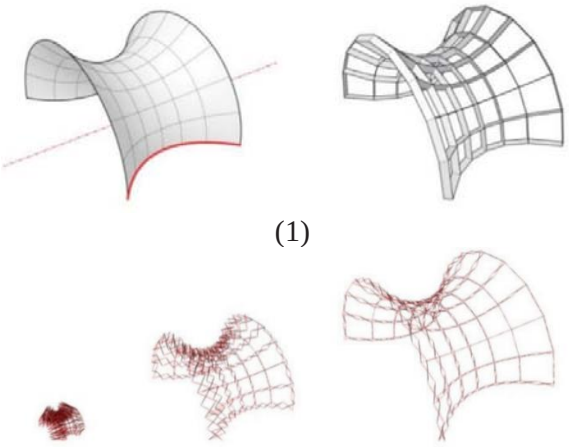


Fig. 1. Production of three-dimensional scissor structure by geometric design method: (1) extraction of Iso-curves (2) transformation of Iso-curves into scissor-like structures
(Kelvin Roovers L. A, 2013)

طراحی مکانیسم

یک مکانیسم گروهی از عناصر صلب هستند که توسط اتصالات سینماتیکی صلب بهم متصلند تا نیرو و حرکت را انتقال دهند. سازه‌های متحرک و گسترش‌پذیر طی فرآیند تبدیل به عنوان مکانیسم و در زمان تثبیت به عنوان سازه‌ای باربر عمل می‌کنند. مکانیسم زنجیره‌ی سینماتیکی مقید است. بدین ترتیب که اگر یکی از میله‌ها ثابت باشند، حرکت هر میله‌ی دیگر به مکانی جدید سبب می‌شود که میله‌های دیگر نیز به مکان‌های معین قابل پیش‌بینی حرکت کنند. انواع مختلفی از مکانیسم وجود دارد که از متداول‌ترین آن‌ها می‌توان به مکانیسم چهارمیله‌ای اشاره نمود. مکانیسم چهارمیله‌ای ساده‌ترین میله‌بندی زنجیره‌ای بسته‌ی متحرک است. این مکانیسم شامل چهار عنصر تشکیل دهنده بنام میله است که در یک حلقه با چهار اتصال بهم متصل شده‌اند (Afzali, 2012: 52). یک شبکه‌ی قیچی سان گسترش‌پذیر می‌تواند به عنوان واحدهای قیچی سان چهارمیله‌ای سینماتیکی در نظر گرفته شود (Roovers, 2017: 2). در کنار مکانیسم چهارمیله‌ای که عمدتاً مکانیسم دوبعدی شناخته می‌شود، مکانیسم‌های محدود شده‌ی سه‌بعدی همچون بنت[۸]، میراد[۸]، ساروس[۸]، بریکارد[۸] و آلتمن[۸] وجود دارند که در فضای سه‌بعدی گسترش می‌یابند. از این میان مکانیسم‌های سه‌بعدی بنت و آلتمن از پرکاربردترین میله‌بندی‌ها برای طراحی سازه‌های قیچی سان فرم‌آزاد سه‌بعدی هستند (شکل ۲).

معماری کنترل‌پذیر، تطبیقی و هوشمند

معماری دیجیتال میان ملموس‌ترین و سنگین‌ترین مواد موجود در طبیعت، یعنی ساختمان، و سبک‌ترین

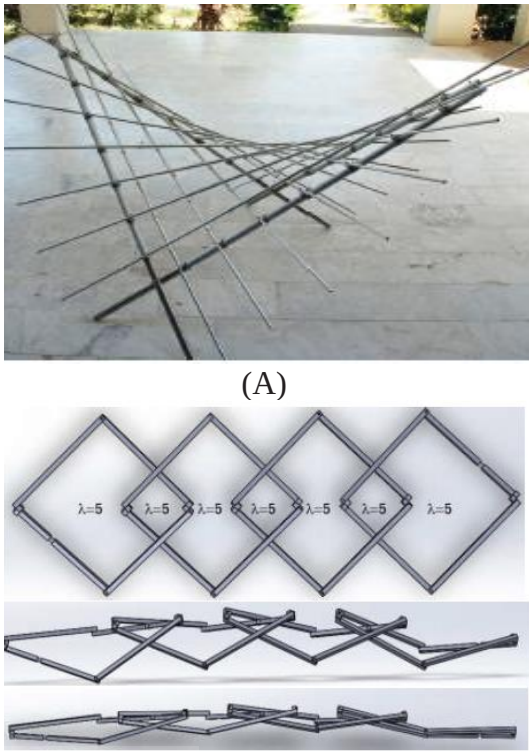


Fig. 2. 3D Mechanisms: A) Bennett (K. Korkmaz, 2012)**, B) Altman** (Y.Chen, 2003)

و مجازی‌ترین پدیده‌های موجود یعنی داده‌های دیجیتال ارتباط برقرار نموده و برای استحکام این رابطه‌ی فیزیکی- دیجیتالی تلاش می‌نماید. رابطه‌ای که دنیای مادی مواد و سازه‌ها را به دنیای غیرمادی داده‌ها و الگوها پیوند می‌زند (Khabazi, 2014: 11). ابزارهای دیجیتال همچنین امکان ایجاد فضاهای پویا و واکنش‌پذیر را به معماران می‌دهند و همین امر باعث شده تا امروزه، بسیار مورد توجه مهندسان و معماران قرار گیرند. معماران از این نوع معماری بنام معماری دیجیتال یاد می‌کنند. در کنار واژه‌ی دیجیتال، اصطلاحاتی همچون پاسخگو، تعاملی، تغییرپذیر، تطبیقی و حتی هوشمند نیز مورد استفاده محققان قرار گرفته است. اصطلاح معماری پاسخگو که توسط نیکولاس نگروپونته وارد معماری شد به تلفیق معماری با کامپیوتر، الکترونیک و مکانیک می‌پردازد. ساختمان در پوسته‌ها، بدنه‌ها، سازه‌ها و نماها قابلیت‌های متفاوتی دارد که می‌تواند از طریق هر یک از آن‌ها به مسایل مورد نیاز طراحی پاسخگو باشد. از آنجایی که مشکل عمده این پروژه‌ها، از کار افتادن دستگاه‌های مکانیکی آن‌ها در کوتاه مدت و نیاز به تعمیرات دائم بوده است، این نگاه در معماری همواره با انتقاداتی همراه است (Khoo, 2013:401). در معماری تطبیقی، ابتدا کاربر محیط پیرامونی و عوامل و اجزاء تاثیرگذار بر فضا را شناسایی می‌کند و سپس روش‌های انطباق‌پذیری معماری برای پاسخ به عوامل متغیر در دسته‌های فوق را بررسی می‌نماید. اصطلاح معماری تعاملی یا تطبیقی را فاکس و کمت این‌گونه توضیح می‌دهند که این معماری، دو زمینه را به منظور رسیدن به تطبیق‌پذیری تحت تأثیرات مربوط به محیط و یا انسان‌ها درکنار هم می‌آورد که عبارتند از: محاسبات تعبیه شده[10] و حرکت شناسی. کاربرد محاسبات تعبیه‌شده که شامل حسگرها, پردازشگرهای مرکزی و کنترل‌گرها است، با هدف تقلید رفتار ارگانیسم‌های فیزیکی است تا اطلاعات را از محیط جمع‌آوری کنند، آن ها را پردازش نموده و به تناسب آن، واکنش دهند (Kontovourkis, 2013: 210).

رفتار واکنشی فیزیکی یک سازه‌ی تطبیق‌پذیر می‌تواند به وسیله‌ی یک رشته خطوط عملی شامل عملکرد حسگرها و کنترل‌گرها بدست بیاید. ورودی‌ها و خروجی‌های فیزیکی، مکانیسم‌هایی که آن نتایج مورد انتظار را کنترل می‌کنند و یک هوشمندسازی در محیط فیزیکی که توسط شرایط داخلی و خارجی تحت تأثیر قرارگرفته است را ترجمه می‌کنند. حسگرها، سیستم‌های جاسازی شده را قادر می‌سازند تا اطلاعات فیزیکی را از طبیعت دریافت کنند و آن‌ها را از طریق پردازشگرها، پردازش کنند و رفتار واکنشی و حرکتی آن ها را از طریق مکانیسم کنترل‌گرها فعال کنند. در حقیقت، تکنولوژی جاسازی شده از حسگرها، پردازشگرها و کنترل‌گرها، ارتباطی بین دنیای فیزیکی و دیجیتال فراهم می‌آورد و بالعکس. هر یک از سه گانه‌ی اصلی حسگرها، پردازش‌گرهای مرکزی و کنترل‌گرها در دنیای واقعی دارای طیف وسیعی هستند که از منظر سرعت، حساسیت، قیمت، سهولت استفاده و در دسترس بودن قابل بررسی می‌باشند. حسگرها، اطلاعات موجود در محیط را گرفته و ترجمه می‌کنند و سپس به کامپیوتر می‌دهند. به‌طور کلی دو نوع حسگر وجود دارد. حسگرهای آنالوگ و حسگرهای دیجیتال. حسگرهای آنالوگ محدوده‌ی ولتاژی که در میکروکنترلر است را به صورت عددی بین ۰ تا ۱۰۲۳ به ما می‌دهند درحالی که حسگرهای دیجیتال، به صورت شرایط دوگانه، مثلاً بالا و پایین، اطلاعات را به میکروکنترلر می‌دهند.

در میان انواع پردازشگرها، کیت آردوینو یک چیپ میکروکامپیوتری تکی است که اخیراً به دلیل سهولت استفاده از آن و امکان وصل شدن انواع حسگرها و کنترل‌گرها بدان، به عنوان یک پردازشگر در عرصه معماری بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Kenesk, 2014: 2). کیت آردوینو می‌تواند با گرفتن داده‌ها و ورودی‌ها از طریق حسگرها و کلیدها، ابزارهای هوشمندی را توسعه دهد و انواع واکنش همچون تنظیم نور، سرعت و دوران موتورها و خروجی‌های مختلف را ایجاد کند. آردوینو می‌تواند یا به صورت مستقل و یا با اتصال به کامپیوتر و نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی کارکند. کد نویسی این برنامه، از طریق نرم‌افزار آردوینو و یا توسط پلاگین فایرفلای در گرس‌هاپر صورت می‌گیرد. این افزونه قادر به نوشتن برنامه‌هایی است که کیت آردوینو را به کامپیوتر و محیط گرس‌هاپر به طور مستقیم وصل می‌کند (Payne, 2011: 3).

در زمینه‌ی کنترل‌گرها نیز می‌توان به خانواده‌های مختلفی از جمله جک‌های پنوماتیکی، مواد هوشمند تغییرشکل پذیر همچون آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، پیزوالکتریک‌ها و یا موتورهای الکترومکانیکی اشاره نمود. یکی از ساده‌ترین کنترل‌گرها بویژه در زمینه‌ی ساخت نمونه‌های کوچک مقیاس، سروو موتورها می‌باشند که با دریافت ولتاژ متناسب، حرکت دورانی ایجاد می‌کنند. آنچه مسلم است میزان و سرعت دوران سرو- موتور با تنظیم ولتاژ ورودی به آن از طریق پردازشگرها قابل تنظیم است. به عبارت ساده‌تر سرو- موتورها بسته به میزان سرعت و دوران جهت کنترل رفتار سازه از پردازشگر ولتاژ دریافت خواهند نمود.

یافته‌های تحقیق

فرم‌یابی پارامتریک و شبیه‌سازی دریافت نور روز

از سازه‌های قیچی سان فرم آزاد کنترل‌پذیر می‌توان در کاربری مختلف بویژه سایبان و المان شهری تطبیق‌پذیر استفاده نمود. تطبیق‌پذیری در این ساختارها می‌تواند جهت نیل به اهداف مختلفی تعریف گردد. برای مثال، یک سایبان تطبیق‌پذیر می‌توانند به حرکت افراد در محیط واکنش دهد و یا برای تأمین سایه‌اندازی مطلوب و بیشینه نسبت به حرکت خورشید تغییر فرم دهد. در هرحال، عوامل مختلفی روی فرم اینگونه سطوح تأثیرگذار خواهند بود و طراح باید عوامل اصلی و اهداف کنترل‌پذیری را تعیین می‌نماید. در سازه‌ی قیچی سان سه‌بعدی فرم آزاد، تغییر فرم می‌تواند به شکل باز و بسته شدن توأم با تغییر هندسه و یا صرفاً تغییر هندسه در یک حالت پایدار باشد. با شناسایی عوامل محیطی مؤثر و یا پیش‌تعریف برای سازه توسط حسگرها، سیستم‌های تعبیه شده در سازه شروع به پردازش اطلاعات نموده و در نهایت سازه با توجه به برنامه‌هایی که برای آن عوامل پیش‌تعریفی تنظیم شده، قادر خواهد بود تا فرم خود را کنترل نموده و با شرایط موجود تطبیق دهد. به عنوان یک نمونه‌ی موردی، در این مقاله سعی بر آنست تا سایبانی تطبیق‌پذیر در حیاط دانشکده‌ی معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز برای گردهمایی دانشجویان، تعامل آنها و همچنین فضایی برای استراحت ایشان طراحی شود. در شکل ۳، موقعیت قرارگیری سایبان، نیمکت دایروی و شرایط محتمل تگیه‌گاهی نشان داده شده است.

عامل محیطی در این مسأله‌ی طراحی، حرکت نور خورشید و برنامه و هدف پیش‌تعریفی کنترل فرم سایبان به‌نحوی است که همیشه سطح مورد نظر از سایه‌اندازی مطلوب بهره‌مند گردد. در نتیجه، ورودی و متغیری که توسط حسگرها اندازه‌گیری خواهد شد، دریافت یا عدم دریافت نور خورشید در سطح زیر سایبان تعریف خواهند شد که برای چنین هدفی، از حسگرهای نوری استفاده می‌شود. بعد از اندازه‌گیری داده‌ها توسط حسگرها، اطلاعات جهت تجزیه و

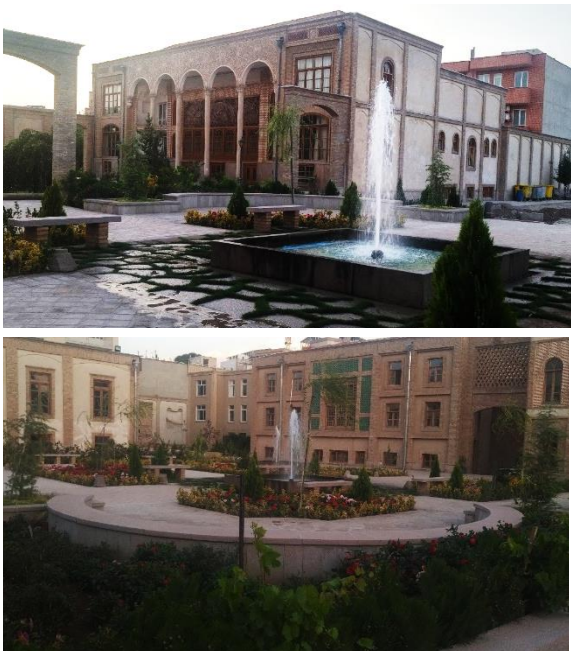


Fig. 3. The present location of the shading device in Islamic Art university of Tabriz

تحلیل، بررسی میزان سطوح با سایه‌اندازی نامطلوب و نیاز به جبران آن، به واحد پردازش یا همان کیت آردوینو ارسال می‌گردد تا دستور میزان ولتاژ لازم به محرک‌های سرو-موتور را ارسال نماید. با توجه شرایط ثابت تکیه‌گاه‌ها در نقاط مشخص، تغییرفرم در این سایبان از نوع تغییر هندسه در یک حالت پایدار بدون باز و بسته شدن سازه قیچی سان خواهد بود. از این‌رو تغییر هندسه به صورت تغییر خیز در دهانه ثابت سایبان تعریف شده است. پس از در نظر گرفتن شرایط موجود، با توجه به عوامل مختلفی از جمله زیبایی‌شناسی، میزان سایه‌اندازی، ایجاد محرمیت فضایی و شکل سایت پلان و نیمکت موجود در سایت، سه فرم مختلف با تعداد تکیه‌گاه‌های متفاوت برای سایبان پیشنهاد شد. آنچه مسلم است در انتخاب آلترناتیوهای اولیه بر اساس معیارهای کیفی و معمارانه، ممکن است به گزینه‌های مختلفی غیر از موارد منتخب توسط نویسندگان مقاله دست یافت. در مقاله‌ی حاضر هدف ارائه‌ی چارچوب نظری و عملی از طراحی، شبیه‌سازی و ساخت سایبان قیچی سان فرم‌آزاد کنترل‌پذیر است که کاملاً مستقل از فرم انتخابی است. با این‌حال برای درک بهتر از روند انجام تحقیق، نمونه‌های موردی انتخاب شده که در ادامه به‌طور مفصل تشریح شده است. آلترناتیوهای طراحی، مدل‌هایی با سه، چهار و پنج تکیه‌گاه در دو حالت خیز حداقل و حداکثر در نرم‌افزار راینو مدلسازی شدند. دلیل بررسی شرایط تکیه‌گاهی متنوع، درنظر گرفتن موقعیت مکانی سایبان، وجود نیمکت نیم دایروی موجود و دسترسی‌ها به فضای سایبان می‌باشد. همچنین بحث خیز حداقل و حداکثر به کمینه کردن نیاز کنترلی رفتار سایبان دلالت دارد. بدین معنی که سعی بر آنست که تا حد امکان، هدف سایه‌اندازی مطلوب از هندسه‌ی غیرفعال سایبان و بدون نیاز به فعال نمودن کنترل‌گرها

تأمین شود. پس از مدل‌سازی اولیه این پوسته‌ها، ساعات دریافت نور در زیر سطح سایبان در هر یک از این مدل برای هر دو حالت خیز در طول سال با استفاده از پلاگین لیدی‌باگ در افزونه‌ی گرس‌هاپر بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی در جدول ۳ ارایه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، سایبان سه تکیه‌گاهی نسبت به بقیه‌ی گزینه‌ها به دلیل این که سطح زیر آن، ساعات کمتری در معرض نور آفتاب قرار گرفته است به عنوان آلترناتیو غیرفعال گزینه‌ی مناسب‌تری است. چراکه در ساعت بیشتری از روزهای سال، سایه‌اندازی مطلوب زیر سایبان را حتی بدون کنترل فراهم خواهد نمود.

مدل‌سازی و ساخت سازه‌ی قیچی‌سان فرم‌آزاد

پس از انتخاب فرم باید صفحه‌ی مورد نظر به سازه‌ی قیچی‌سان سه‌بعدی تبدیل شود. بدین منظور با استفاده از روش اول که در مبانی نظری تشریح شد، پس از استخراج منحنی‌های همتراز صفحه در راستای افقی و عمودی، شبکه‌ی سه‌بعدی مرتبط ایجاد شده و در نهایت این شبکه به سازه‌ی قیچی‌سان فرم‌آزاد تبدیل می‌گردد. کلیه فرآیند مدل‌سازی سایبان در نرم‌افزار راینو و افزونه‌ی گرس‌هاپر صورت گرفته است. پس از فرآیند مدل‌سازی، تمامی قطعات تیپ‌بندی و شماره‌گذاری شده تا با برش لیزری از چوب‌هایی به قطر ۲ میلیمتر ساخته شوند. برای سرهم نمودن سازه و ایجاد ماکت در مقیاس ۱:۲۰ به کمک پیچ و مهره، طراحی اتصالات خاصی صورت گرفته است. سه نوع اتصال برای سازه‌ی قیچی‌سان فرم‌آزاد کنترل‌پذیر طراحی شده است که عبارتند از:

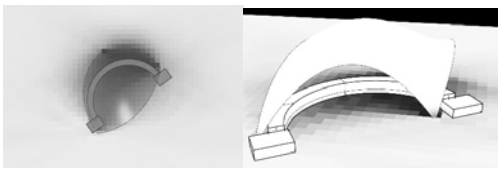
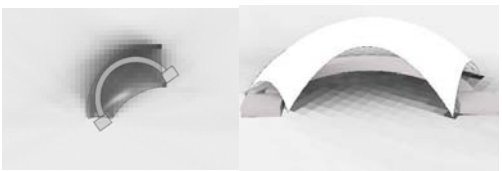
۱. اتصال میله‌ها به یکدیگر در هر واحد قیچی‌سان.
۲. اتصال هر واحد قیچی‌سان به واحد مجاور.
۳. اتصال کنترلی.

اتصال میانی هر دو میله در یک واحد قیچی‌سان، از طریق یک پین و ۲ عدد مهره حاصل شده است.

در حالی‌که برای اتصال واحدهای قیچی‌سان مجاور به یکدیگر و تأمین عملکرد سه‌بعدی سازه، اتصال جدید سه‌بعدی پیشنهاد شد و پس از مدل‌سازی کامپیوتری آن، توسط دستگاه برش لیزری در محیط واقعی ساخته و مونتاژ شد. این اتصال قادر است تا حداکثر چهار مدول قیچی‌سان را در چهار جهت مختلف، از طریق پیچ و مهره بهم متصل کرده و هیچ مانعی برای حرکت سازه نداشته باشد. نکته حائز اهمیت در ساخت ماکت این سایبان در مقیاس واقعی این است که باید توجه داشت هنگام متصل کردن مدول‌های قیچی‌سان به یکدیگر در هر قوس، میله‌های جلویی و عقبی در یک راستا قرار گیرند تا قوس ساخته شده از این واحدهای قیچی‌سان دچار تاب خوردگی نشود. پس از ساخت قوس‌های دو بعدی در یک راستا، مدول‌های قیچی‌سان در راستای عمود بر راستای قوس‌ها ساخته شده و با اتصال تمامی قوس‌های دو بعدی به یکدیگر، مدل سه‌بعدی نهایی ساخته شد. در شکل ۴ تصاویر کامپیوتری از مراحل مدل‌سازی پارامتریک سایبان و در شکل ۵ مراحل ساخت ماکت سایبان در مقیاس ۱ به ۲۰ نشان داده شده است.

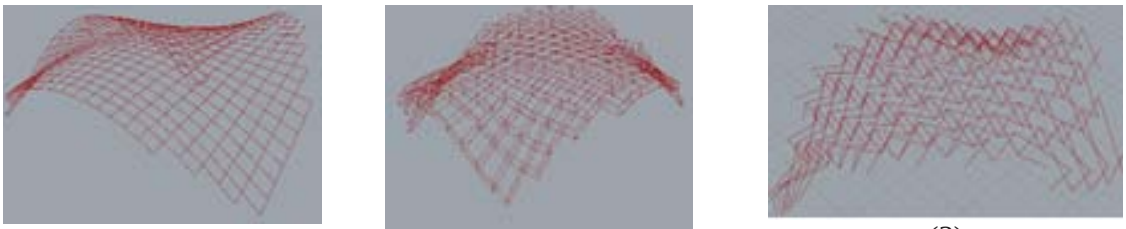
تا اینجا سازه‌ی قیچی سان سه‌بعدی بدست آمده تنها قادر است تحت شرایط تکیه‌گاهی متحرک، باز و بسته شود. در حالی‌که در سایبان واقعی بدلیل شرایط مکانی و عملکردی آن، امکان باز و بسته شدن کل سازه میسر نبوده و کنترل‌پذیری می‌بایست از طریق تغییر خیز سازه در دهانه‌ی ثابت بین تکیه‌گاه‌های ایستا صورت پذیرد. در نتیجه نیاز به دسته‌ی سوم اتصالات، اتصال کنترلی، است تا امکان تغییر خیز بدون تغییر دهانه و همچنین تغییر حالت بین حداکثر خیز و حداقل خیز را برای سازه فراهم سازد. برای این منظور می‌توان از مدل پیشنهادی آگکان تحت عنوان المان قیچی‌سان اصلاح‌شده[9] بهره برد که در آن میله‌های واحد قیچی سان خود به یک زیر سازه تقسیم‌بندی شده و می‌توانند فارغ از حرکت گسترشی کل سازه به صورت تکی و منفرد تغییرحالت دهند.

Table 3. Comparison of different alternatives in amount of shading

Type of shading device		Annual hours of receiving sunlight under the shading device	Proposed shape and amount of shading
With 3 Supports	Minimum Rise	25.504	
	Maximum Rise	25.256	
With 4 Supports	Minimum Rise	25.720	
	Maximum Rise	25.544	
With 5 Supports	Minimum Rise	25.768	
	Maximum Rise	25.631	

بدین ترتیب که با اضافه کردن یک یا دو مفصل اضافه به میله‌ها در واحد قیچی‌سان، هر زیرسازه می‌تواند به خودی خود تغییر کند بدون آنکه بر روی بقیه‌ی اعضاء تأثیر بگذارد. آکگان مدول جدیدی برای المان‌های سه‌بعدی نیز ارائه نمود که از چهار جفت واحد قیچی‌سان شامل دو جفت واحدهای ساده و دو جفت واحدهای قیچی سان اصلاحی تشکیل شده است (Von & Akgan, 2010:47). در شکل ۶، واحدهای قیچی‌سان اصلاحی آکگان نشان داده شده‌اند.

پس از ساخت مدل اولیه‌ی سایبان قیچی‌سان مورد نظر، چهار مدول سه‌بعدی آکگان با چهار مدول متداول قیچی سان تعویض گردید و سپس پایه‌ها در محل خودشان در حالت گسترشی کامل سازه، ثابت شدند. در شکل ۷، پلان سازه قیچی سان مورد نظر و محل قرارگیری چهار واحد سه‌بعدی اصلاحی، کدگذاری و اعضا مرتبط و در نهایت تصویر پلان سازه نهایی نشان داده شده است.



(1) (2) (3)

Fig. 4. Steps of parametric modeling of the shading device using Rhino and Grasshopper plugin

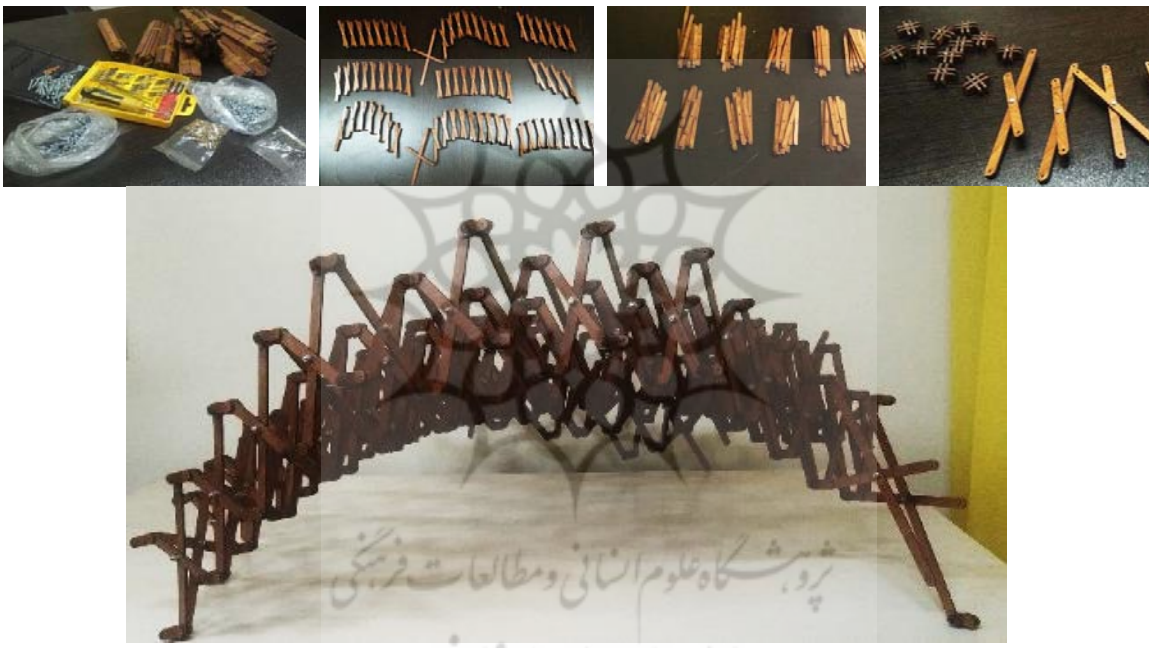
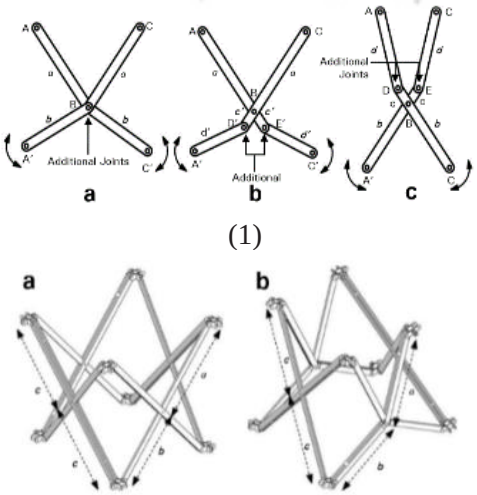


Fig. 5. The built model with a scale of 1 to 20 with bars and connections



(1)

(2)

Fig. 6. Akgun modified scissor-like elements (M-SLE): (1) 2D, (2) 3D (Von & Akgun, 2010)

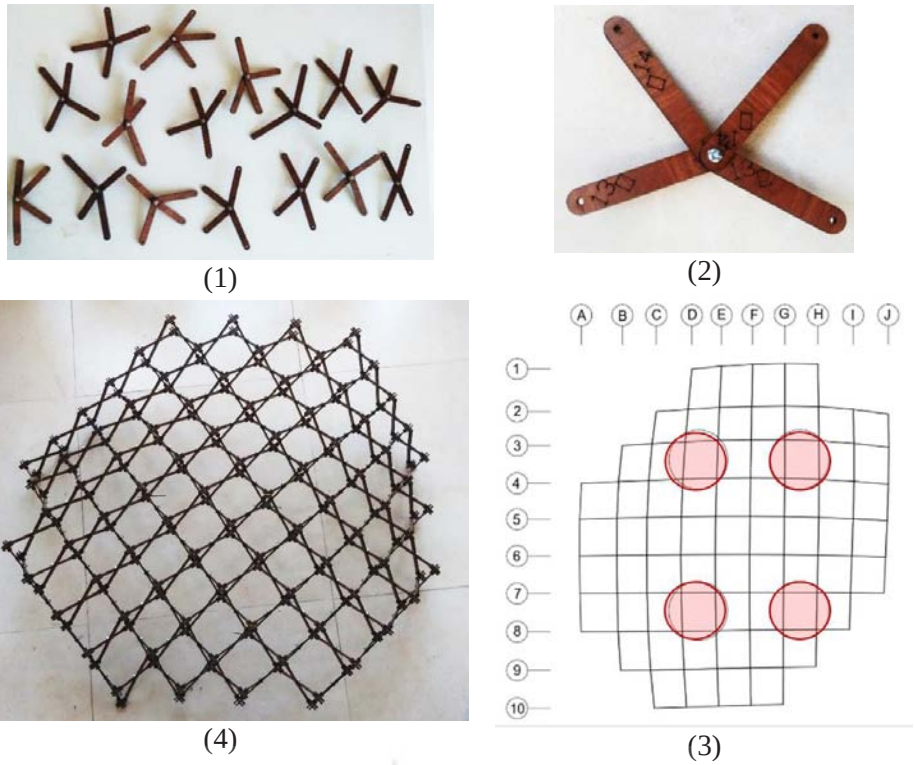


Fig. 7. Three-dimensional(3D) free-form scissor-like structure with the ability of changing rise in a fixed span: (1) M-SLEs; (2) Naming the elements in order to assembling the structure; (3) The plan of the structure and the location of the four three-dimensional M-SLEs; (4) Top view of the final structure

Fig. 9. Connection of servo-motors to Akgun M-SLEs

پس از جایگذاری سرو-موتورها و حسگرها در سازه، ۲ عدد کیت آردوینو، تمامی حسگرها و کنترل‌گرها را بهم مرتبط کرده تا اطلاعات را از حسگرهای ورودی دریافت نموده و به عملگرها یعنی موتورها فرمان حرکت بدهد. برنامه‌نویسی برای کیت آردوینو به عنوان یک پردازشگر و مرتبط کننده بین حسگرهای نوری و سرو-موتورها با نرم‌افزار آردوینو و افزونه‌ی فایرفلای در گرس‌هاپر صورت گرفته است. لازم به ذکر است که قبل از بستن مدار، کلیه‌ی مداربندی‌ها و سیستم تطبیق‌پذیری سازه از طریق نرم‌افزار پروتئوس شبیه‌سازی شده است. در اشکال ۱۰ و ۱۱، شبیه‌سازی مدار در نرم‌افزار پروتئوس و پیاده‌سازی مدار در محیط واقعی نشان داده شده‌اند. در مدل آزمایشگاهی با مقیاس ۱ به ۲۰ ساخته شده، از حسگرهای مادون قرمز به منظور دریافت نور خورشید در برخی از قسمت های سطح زیر سایبان که در برخی ساعات روز در آفتاب قرار می‌گرفت استفاده شد. برای شبیه‌سازی نور

کنترل سازه

پس از تعبیه‌ی واحدهای اصلاحی در سازه نیاز به الحاق کنترل‌گرهایی به منظور تغییر زاویه بین میله‌ها و در نتیجه تغییر شکل به صورت تغییر خیز آن است. برای این منظور، شانزده عدد سرو-موتور به هشت واحد اصلاحی از طریق میله‌های رابط متصل شده تا حرکت دورانی سرو-موتور به حرکت مستقیم‌الخط تبدیل نموده و از این طریق، زاویه بین المان‌های اصلاحی تغییر کند. این امر، باعث تغییر زاویه در المان‌های کل سازه و در نهایت منجر به تغییر خیز سازه می‌شود. با تنظیم میزان زاویه چرخش سروو موتورها، می‌توان میزان خیز سازه را تنظیم نمود. در شکل ۸ و۹، دیتیل اتصال سرو-موتور به مدول اصلاحی و نمونه‌های اجرایی در مدل آزمایشگاهی نشان داده شده است.

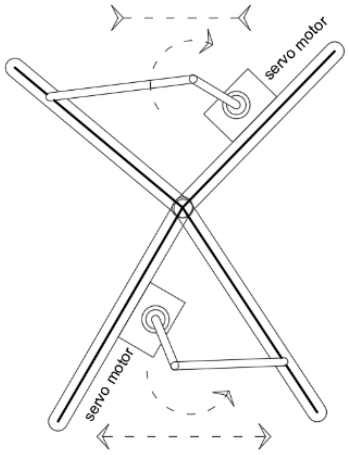


Fig. 8. Designing a 4-bar mechanism in order to move elements and structures

آفتاب به سنسورها نورپردازی شده تا اطلاعات حسگر نوری به کیت آردوینو و نتایج پردازش به سرو-موتورها ارسال شود. این حرکت به طور رفت و برگشتی تکرار می‌شود یعنی با قطع نور، سازه دوباره به حالت قبل باز می‌گردد (شکل۱۲).

در مدل آزمایشگاهی نشان داده شده، ابتدا فرم سازه در حالت خیز حداقلی و برای زمانی که نور به سنسورها نمی‌تابد قرار گرفت. این حالت معادل زمان‌هایی است که سایبان غیرفعال، سایه‌اندازی مطلوب را داشته و نیازی به فعال‌سازی ندارد. سپس از سمت چپ به حسگرهای نوری تابیده شده تا نتایج حسگرها به کیت آردوینو منتقل و پاسخ لازم جهت دوران سرو-موتورها و آغاز تغییر خیز سازه دریافت گردد. دوران سرو-موتورها تا رسیدن سازه به خیز حداکثری سازه ادامه یافته تا دوباره سطح زیر سایبان در سایه قرار گیرد. در ادامه با قطع منبع نور، حسگرها مجدداً اطلاعات لازم را به پردازشگر ارسال نموده و کیت آردوینو با حذف جریان ارسالی به سرو-موتورها گسترش آن را متوقف نموده و سازه تحت اثر وزن خود تغییر خیز داده و سازه به حالت اولیه خود با خیز حداقلی بر می‌گردد.

در شکل ۱۲، با خط نشان سفید رنگ سعی شده مراحل تغییر خیز سازه تحت اثر تحریک تابش به حسگرها و حذف آن مشخص گردد. لازم به ذکر است این مدل صرفاً بر اساس تغییر خیز سازه تحت نور خورشید طراحی شده است. اما می‌توان با افزودن سنسورهای مختلف، قابلیت‌های متنوعی را در سازه ایجاد کرد.

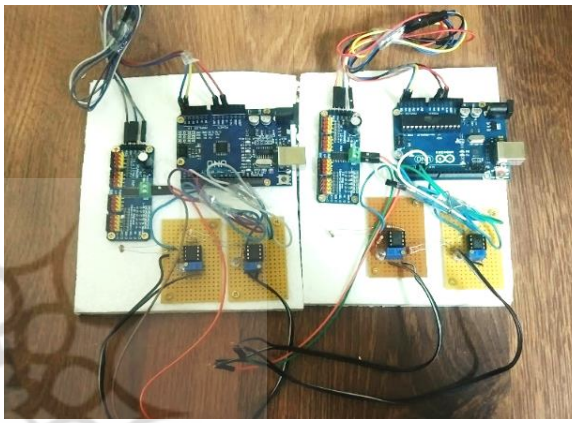


Fig. 11. Implementation of the circuit in reality

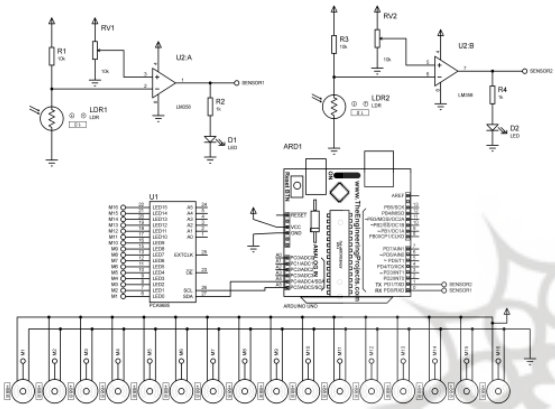
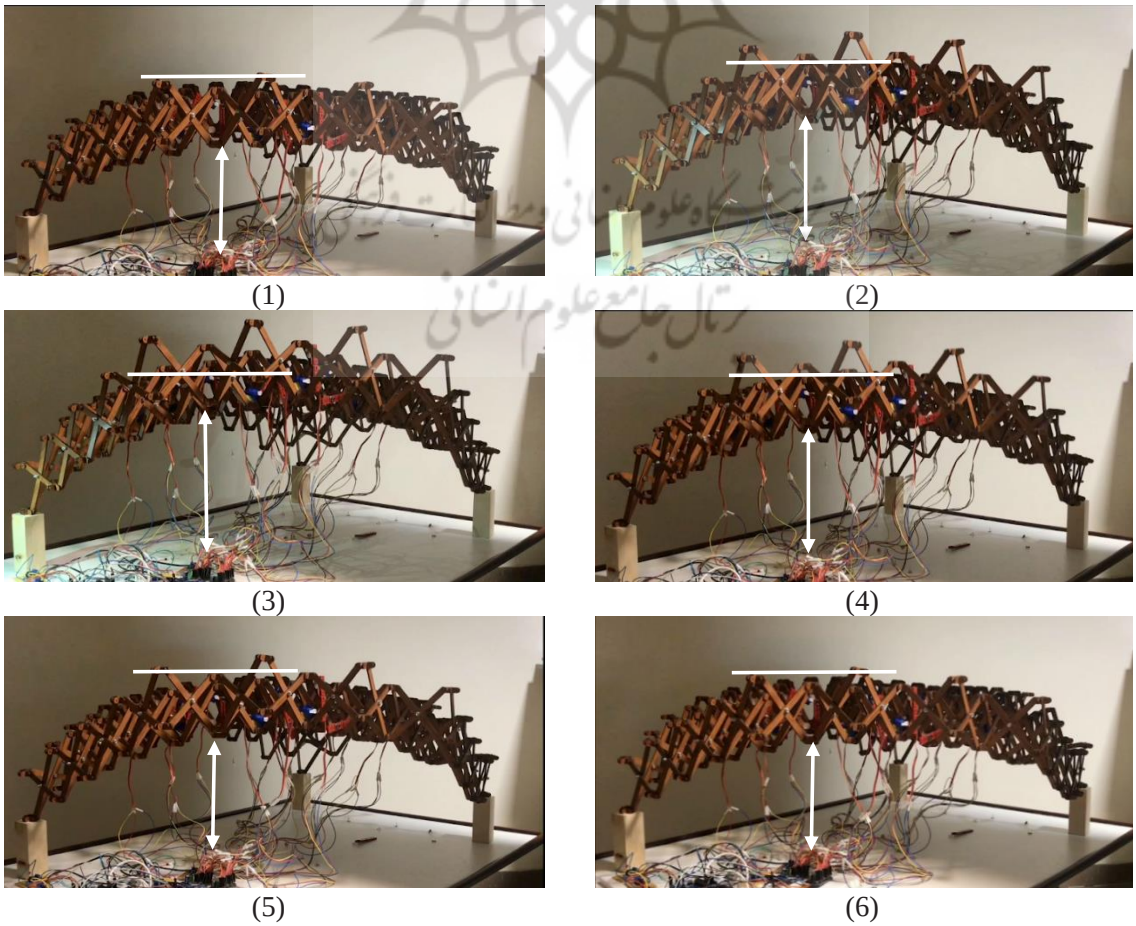


Fig. 10. Simulation of electrical circuits in Proteus software



(1) (2) (3) (4) (5) (6)

Fig. 12. Adaptation stages of the laboratory model under the stimulation of light radiation to the optical sensor simulating sunlight

نتیجه‌گیری

در این مقاله فرم‌یابی، ساخت و کنترل هندسه‌ی سایبان‌های تطبیقی فرم‌آزاد در برابر تغییرات نور ارایه گردید. از سازه‌ی قیچی‌سان با قابلیت تغییر هندسه جهت دستیابی به فرم‌های کنترلی استفاده شده است. ابتدا، آلترناتیوهای طراحی معرفی شده و نتایج دریافت نور روز آن‌ها در طول سال در پلاگین لیدی‌باگ شبیه‌سازی شد. سپس، از میان آلترناتیوها، نمونه با کمترین میزان دریافت نور روز در طول سال، که خود برخی از نیاز سایه‌اندازی را بدون اعمال کنترل تأمین نماید، در نظر گرفته شده و از طریق استخراج منحنی‌های همتراز سطح، فرم سازه‌ی قیچی سان سه‌بعدی مربوطه استخراج گردید. همچنین، جهت ایجاد قابلیت تغییر خیز در دهانه ثابت سازه، دیتیل جدیدی نیز برای مدول‌های قیچی‌سان پیشنهاد گردید. در نهایت به معرفی حلقه‌ی بسته کنترل با سه بخش اصلی حسگر، پردازش‌گر مرکزی و کنترل‌گر پرداخته شد. برای تشریح مدل سایبان تطبیقی، یک نمونه‌ی آزمایشگاهی با مقیاس ۱ به ۲۰ ساخته شد که در آن حسگرهای نوری، پردازشگر مرکزی کیت آردوینو و کنترل‌گر سرو-موتور بکار رفته است. شبیه‌سازی صورت گرفته حاکی از آن است که مدل پیشنهادی قابلیت تطبیق با تغییرات نور روز و توانایی ایجاد سایه‌اندازی مطلوب برای کاربران را دارد.

پی‌نوشت

1. Scissor Structure
2. Pantograph
3. Translational Unit
4. Polar Unit
5. Angulated Unit
6. Hoberman
7. Bi-Stable
8. Iso-Curve
9. M-Sle
10. Embedded Computation

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.

تاییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیهٔ اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی/ حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

References

1. Afzali, Mohammadreza, (2012). Kinematic and dynamic of machines, Yazda publication. [in Persian]
2. Bernhardt, P.A., Siefring, C.L., Thomason, J.F., Rodriquez, S.P., Nicholas, A.C., Koss, S.M., Nurnberger, M., Hoberman, C., Davis, M., Hysell, D.L. and Kelley, M.C., (2008). Design and applications of a versatile HF radar calibration target in low Earth orbit. Radio Science, 43(01), pp.1-23. Doi: 10.1029/20 07RS0 03692.
3. Buhl, T., Jensen, F.V. and Pellegrino, S., (2004). Shape optimization of cover plates for retractable roof structures. Computers & Structures, 82(15-16), pp.1227-1236. Doi: 10.1016/j.compstruc.2004.02.021.
4. Cai, J., Deng, X., Feng, J. and Xu, Y., (2014). Mobility analysis of generalized angulated scissor-like elements with the reciprocal screw theory. Mechanism and Machine Theory, 82, pp.256-265.
5. Chen.Y, Design of structural mechanisms (Doctoral dissertation, University of Oxford), (2003).
6. De Temmerman, N., (2007). Design and analysis of deployable bar structures for mobile architectural applications. Vrije Universiteit Brussel.
7. Escrig, F.É.L.I.X., Perez Valcarcel, J. and Sanchez, J., (1996). Deployable cover on a swimming pool in Seville. Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures, 37(1), pp.39-70.
8. Friedman Noémi, György Farkas, Adnan Ibrahimbegovic, (2011). Deployable/retractable structures towards sustainable development, An International Journal for Engineering and Information Sciences, Vol 6, issue 2, p 85-97.
9. Gantes, C.J. and Konitopoulou, E., (2004). Geometric design of arbitrarily curved bi-stable deployable arches with discrete joint size. International Journal of Solids and Structures, 41(20), pp.5517-5540.
10. Gantes, C.J., (2001). Deployable structures: analysis and design. Wit Press.
11. Hoberman, C., (1990). Reversibly expandable doubly-curved truss structure. U.S. Patent 4,942,700.
12. Hoberman, C., (1991). Radial expansion/retraction truss structures. U.S. Patent 5,024,031.
13. Jensen, F.V. & Pellegrino, S. (2004), Expandable "blob" structures, extended abstract. In Motro [2004], 44-45, (paper on CD-ROM).
14. Jensen, F.V. (2004), Concepts for retractable roof structures. Dissertation submitted to the Univer-

sity of Cambridge for the Degree of Doctor of Philosophy, Cambridge.
15. Kassabian, P.E., You, Z. and Pellegrino, S. (1997), Retractable Structures based on Multi-Angulated Elements. IASS Colloquium of Structural Morphology.
16. Kensek, K. M, (2014). Integration of Environmental Sensors with BIM: case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API, Informes de la Construcción, Vol 66.
17. Khabbazi, Zubin, (2014). Digital Design Processes, Kasra Publication, Mashhad. [in persion]
18. Khoo ChinKoi, Salim Flora, Burry Jane, (2013). Designing Architectural Morphing Skins with Elastic Modular System. International journal of architectural computing, Vol 9, issue 4.
19. Kontovourkis Odysseas, C.Phocas Marios and Tryfonos George, (2013).Prototyping of an Adaptive Structure based on Physical Conditions, international journal of architectural computing, Vol 11, issue 2 ,p 205-225.
20. Korkmaz.K, Akgün.Y, Maden.F, (2012). Design of a 2-DoF 8R linkage for transformable hypar structure, Mechanics based design of structures and machines, 2012, P: 19-32.
21. Langbecker, T., (1999). Kinematic Analysis of Deployable Scissor Structure S. International Journal of Space Structures, 14(1), pp.1-15.
22. Maden.F, Korkmaz.K, Akgun.Y, A., (2011). Review of Planar Scissor structural Mechanisms: Geometric Principles and Design Methods, Architectural science review, Vol 54, issue 3,p 246-257
23. Mira, L.A., Thrall, A.P. and De Temmerman, N., (2014). Deployable scissor arch for transitional shelters. Automation in Construction, 43, pp.123-131. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.03. 014.
24. Payne, Andrew, (2011). Interactive prototyping, http://www.fireflyexperiments.com, p3.
25. Roovers Kelvin, Mira Lara Alegria, DeTemmerman Niels, (2013). From Surface to Scissor Structure, Proceedings of the First Conference Transformable, School of Architecture Sevill, spain, p 1-6.
26. Roovers, K. and De Temmerman, N., 2017(a). Deployable scissor grids consisting of translational units. International Journal of Solids and Structures, 121, p45-61.
27. Roovers, K. and De Temmerman, N., 2017(b). Geometric design of deployable scissor grids consisting of generalized polar units. Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures, 58(3), pp.227-238.
28. Roovers, K., (2017). Deployable scissor grids-Geometry and Kinematics. Vrije Universiteit Brussel.
29. Rosenfeld, Y. and Logcher, R.D., (1988). New concepts for deployable-collapsable structures. International Journal of Space Structures, 3(1), pp.20-32.
30. Von Vorgelegt, Akgün Yenal, (2010). A novel transformation model for deployable scissor-hinge structurs, Stuttgart University, Turkey.
31. Werner, Carolina De Marco, (2013). Transformable and transportable architectures, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain.
32. Zhao, J.S., Wang, J.Y., Chu, F., Feng, Z.J. and Dai, J.S., (2011). Structure synthesis and statics analysis of a foldable stair. Mechanism and Machine Theory, 46(7), pp.998-1015.
33. Zhao, J.S., Wang, J.Y., Chu, F., Feng, Z.J. and Dai, J.S., (2012). Mechanism synthesis of a foldable stair. Journal of Mechanisms and Robotics, 4(1), p.014502.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی