

ارائه الگوریتمی برای فرآیند بهینه‌سازی معماری پارامتر تناسبات مقیاس در طراحی یک سطح غشایی فرم آزاد توسط افزونه گالاپاگوس پلاگین گرس هاپر*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

کد مقاله: ۱۳۴۳۲

صبا پورصوتی^۱، فرزین حق پرست^{۲*}، فرهاد احمدنژاد^۳

چکیده

با پیدایش کامپیوترها و پیشرفت در روش‌های محاسباتی، پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه بهینه‌سازی صورت گرفته‌است. نتایج حاصل از مطالعات و بررسی‌های پژوهش‌های موجود در زمینه بهینه‌سازی معماری، حاکی از این بود که دلیل کیفی بودن بسیاری از پارامترهای معماری و دشواری در تبدیل آن‌ها به پارامترهای کمی در جهت ورود داده‌های عددی به محاسبات کامپیوتری، بسیاری از این پارامترها کمتر مورد توجه بوده‌اند. هدف این پژوهش، ارائه الگوریتمی برای فرآیند بهینه‌سازی معماری پارامتر تناسبات مقیاس در طراحی یک سطح غشایی فرم آزاد می‌باشد. برای این منظور، مفهوم بهینه‌سازی معماری و روش‌ها و نرم افزارهای مورد استفاده در این حوزه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و با تعریف یک سری الزامات فرضی، یک سازه غشایی از نوع چادری مخروطی با فرم آزاد طراحی و فرم‌یابی شد. در نهایت، یک سری از مولفه‌های کیفی پارامتر تناسبات مقیاس به مولفه‌های کمی ترجمه شده و بهینه‌سازی معماری در دو حالت کمی (توسط افزونه گالاپاگوس) و کیفی (با نظر طراح) مطابق الگوریتم ارائه شده تا دستیابی به نتیجه مطلوب انجام گرفت. ملاک اصلی حصول به نتیجه مطلوب تایید طراح می‌باشد. در واقع، نرم‌افزارها و محاسبات در جهت صرفه‌جویی در زمان و انرژی به کمک طراح می‌آیند لیکن در نهایت این نظر طراح است که کل فرآیند را هدایت می‌کند.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی معماری، تناسبات مقیاس، سطوح غشایی، فرم آزاد.

۱- کارشناس ارشد فناوری معماری دیجیتال دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.

۲- دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران. (نویسنده مسئول) f.haghparsat@tabriziau.ac.ir

۳- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.

*- این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول با عنوان « فرم یابی هندسی و بهینه‌سازی معماری سطوح غشایی فرم آزاد » است که با راهنمایی نگارنده دوم و سوم در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است.

۱- مقدمه

امروزه باتوجه به استفاده بی رویه ساکنین کره زمین از منابع خدادادی آن موجب شده بهینه‌سازی تبدیل به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر در عصر حاضر شود. معماران و مهندسان سازه نیز از این قاعده مستثنی نبوده و از زمان‌های گذشته تاکنون درصدد یافتن سازه‌هایی بهینه با تامل در طبیعت و کشف قوانین تعادل نهفته در دل آن بودند. با مطالعه و بررسی بهینه‌سازی‌های انجام شده بر روی سطوح غشایی فرم‌آزاد در منابع موجود، مشاهده می‌گردد در اغلب پژوهش‌ها تمرکز اصلی بر بهینه‌سازی الزامات سازه‌ای می‌باشد. لکن از منظر معماری در اغلب موارد به الزامات معماری کمتر پرداخته شده‌است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارائه الگوریتمی برای بهینه‌سازی معماری پارامتر معماری تناسبت مقیاس در طراحی یک سطح غشایی فرم‌آزاد توسط افزونه گالاپاگوس^۱ پلاگین گرس هاپر^۲ انجام گرفته است. در جهت محقق کردن این هدف در ابتدا پیشینه پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهینه‌سازی معماری و انواع روش‌های آن مطالعه و مورد بررسی قرار گرفت. سپس، در بخش مبانی نظری تحقیق به مفاهیمی همچون سطح غشایی فرم‌آزاد، بهینه‌سازی معماری و مقیاس پرداخته شد. در ادامه، در قسمت یافته‌های پژوهش براساس یک سری شرایط فرضی تعریف شده، یک سطح غشایی فرم‌یابی شد و فرآیند بهینه‌سازی پارامتر تناسبت مقیاس برای آن توسط افزونه گالاپاگوس پلاگین گرس هاپر انجام گردید. در پایان، یافته‌های پژوهش مورد تحلیل، بررسی و ارزیابی واقع شده و نتایج بدست آمده منجر به ارائه یک الگوریتم برای معرفی فرآیند بهینه‌سازی مورد نظر گردید.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش در مرحله اول با جمع‌آوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای و اینترنتی، به مطالعه آن‌ها و بررسی نمونه‌های موردی پرداخته شده است. سپس یک سری شرایط فرضی برای یک سطح غشایی فرم‌آزاد تعریف گردید. و براساس آن پارامترهای هندسی اولیه و الزامات معماری مورد نظر برای طراحی سطح غشایی استخراج شد. در ادامه، سطح مورد نظر با استفاده از نرم افزار راینو و پلاگین گرس هاپر و افزونه کانگورو مدل‌سازی و فرم‌یابی شد. سپس مسأله بهینه‌سازی براساس پارامتر معماری تناسبت مقیاس برای سطح غشایی تعریف شد و فرآیند بهینه‌سازی انجام گرفت. در نهایت، با تجزیه و تحلیل تمامی داده‌ها و ارزیابی نتایج، فرآیند بهینه‌سازی با انجام تغییرات لازم و تکرار عملیات، تا رسیدن به نتیجه مطلوب ادامه یافت و الگوریتمی برای این فرآیند ارائه گردید.

۳- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های متعددی در زمینه بهینه‌سازی معماری و انواع روش‌های آن و نیز بهینه‌سازی سطوح غشایی فرم‌آزاد انجام گرفته‌است. در ادامه به بررسی چند نمونه از مهم‌ترین پژوهش‌ها می‌پردازیم.

گرو^۳ در سال ۱۹۷۳ در پژوهشی به بررسی مفهوم بهینه‌سازی معماری و انواع روش‌ها و نرم افزارهای مورد استفاده برای بهینه‌سازی پارامترهای معماری پرداخته است (Gero: 1973). بلتزینگر^۴ به همراه همکارانش در سال ۲۰۰۵ در مقاله‌ای با عنوان «روش‌های کامپیوتری برای فرم‌یابی و بهینه‌سازی پوسته‌ها و غشاها» به ارائه یک سری روش‌های عددی جهت شبیه‌سازی تجربیات فیزیکی برای مدل‌سازی غشاها و پوسته‌های فرم‌آزاد در زمینه فیلم‌های صابونی و مدل آویخته پرداخته‌اند (Bletzinger et al.:2005). فیلیپ بلاک^۵ از اساتید و محققان دانشگاه ای تی اچ زوریخ^۶ به همراه سه نویسنده دیگر، در کتابی با عنوان "سازه‌های پوسته‌ای برای معماران: فرم‌یابی و بهینه‌سازی" در سال ۲۰۱۴ به بررسی تاریخچه و انواع روش‌های فرم‌یابی و بهینه‌سازی سازه‌های پوسته‌ای پرداخته است (Sigrid Adriaenssens et al.:2014). هنریکسون^۷ به همراه همکارانش در پژوهشی با کمک افزونه‌های پلاگین گرس هاپر شامل اختاپوس، کانگورو و کارامبا و با تأکید بر نیازهای معماری کارفرما، فرم‌یابی و بهینه‌سازی یک سطح مشبک برای پوشاندن حیاط مرکزی یک بنا را انجام داده‌است (Henriksson et al.:2015). دوتا^۸ و همکارش در سال ۲۰۱۷ پژوهشی در ارتباط با بهینه‌سازی سازه‌های غشایی کششی متکی بر قاب انجام داده است (Dutta et al.:2017). وی همچنین در سال ۲۰۱۸ بهینه‌سازی سازه‌های غشایی کششی تحت اثر نیروی باد متغیر و بی ثبات را مورد پژوهش قرار داده است (Dutta et al.:2018). پژوهشگران متعددی به بهینه‌سازی انواع پارامترهای معماری پرداخته‌اند. یوسیف^۹

1- Galapagos
2- Grasshopper
3- Gero
4- Bletzinger
5- Philippe Block
6- ETH Zurich
7- Henriksson
8- Dutta
9- Yousif

و همکارانش پژوهشی در سال ۲۰۱۷ در راستای معرفی یک رویکرد جدید در زمینه بهینه سازی معماری تنوع فرمی^۱ انجام داد (Yousif et al.:2017). یوسیف و همکارانش در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۸ به بهینه سازی پارامترهای مرتبط با مباحث زیبایی شناسانه که اغلب نادیده گرفته شده اند پرداخته است. (Yousif et al.:2018). جیانگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۲۱ پژوهشی در جهت بهینه سازی شکل و توپولوژی سازه های درختی که برای حمایت سازه ای سطوح فرم آزاد بکار می رود انجام داده اند (Jiang et al.:2021).

۴- مبانی نظری تحقیق

۴-۱- سطح غشایی فرم آزاد

غشاها ورقه نازکی از مواد هستند که به واسطه همین نازکی و عدم صلیبیت ناشی از آن، تنها تنش کششی را در سطح خود تولید می کنند و در مقابل فشار، خمش و یا برش مقاومت چندانی ندارند (سالوادوری، ۱۹۰۷: ۲۱۵). در طراحی فرم کلی یک سازه فرم آزاد من جمله سطح غشایی فرم آزاد ممکن است فرم به لحاظ هندسی از قوانین خاص هندسی تبعیت نکند ولی مطمئناً به نظم سازه ای پایبند بوده و طبق منطق سازه ای مشخصی شکل گرفته است (گلابچی و تقی زاده، ۱۳۹۳: ۱۰۹-۱۰۸).

۴-۲- بهینه سازی معماری

منظور از بهینه سازی معماری، بهینه سازی تمامی مسائل مرتبط با الزامات معماری اعم از مباحث مربوط به انرژی، مصالح، هزینه، تناسبات مقیاس، زیبایی شناسی و ... می باشد که بر خلق یک اثر معماری تأثیرگذار هستند. با پیشرفت تکنولوژی و ظهور کامپیوترها و سیستم های پیشرفته به مرور معماران بیشتری به پروسه بهینه سازی پرداختند. در این میان دو چالش بزرگ پیش روی معماران قرار داشت:

۱- مسأله بهینه سازی در بسیاری از موارد غیر عددی و کیفی بود که امکان آنالیز و دستکاری داده ها در آن ها را دشوار می ساخت.

۲- وجود چند تابع هدف که در آن بایستی چندین پارامتر به طور همزمان مورد بررسی قرار می گرفت، کنترل مسیر بهینه سازی را بیش از پیش دچار پیچیدگی می کرد (Gero, 1973:184).

به خاطر چنین چالش هایی، اغلب پارامترهایی از قبیل سازه، نور، نقشه جانمایی، تهویه، انرژی مصرفی و موارد مشابه که قابلیت استخراج داده های عددی از آن ها وجود داشت، مورد بهینه سازی قرار می گرفت.

از سال ۱۹۵۰ روش های متعددی برای الگوریتم های بهینه سازی ارائه شده اند. از دو سری الگوریتم برای حل مسائل بهینه سازی استفاده می شود: الگوریتم های تکرار شونده^۳ و الگوریتم های فرا اکتشافی^۴ (Wortman and Nannicini, 2017:266).

از میان انواع نرم افزارهای مورد استفاده برای بهینه سازی سه نرم افزار دیزاین بیلدر^۵، داینامو استودیو^۶ و گرس هاپر به همراه افزونه های آن مانند گالاپاگوس در اختیار عموم قرار دارد که نیاز به تخصص در زمینه برنامه نویسی ندارند (Wortman and Nannicini, 2017:269). در این پژوهش برای بهینه سازی از افزونه گالاپاگوس در پلاگین گرس هاپر استفاده شده است. این

افزونه برای انجام بهینه سازی های تک هدفه بر اساس الگوریتم ژنتیک به کار می رود. افزونه گالاپاگوس یک ابزار برای بهینه سازی در پلاگین گرس هاپر می باشد که توسط آقای دیوید راتن^۷ ابداع شده است. کامپوننت^۸ گالاپاگوس دارای دو ورودی^۹ می باشد که متغیرها به آن ها وصل می شوند. ورودی ژنوم^{۱۰} برای متغیرهای مستقل است که تغییر آن ها بر روی مقدار تابع هدف تأثیر می گذارد. ورودی فیتنس^{۱۱} برای متغیر وابسته یا تابع هدف، که می خواهیم مقدار بهینه آن را پیدا کنیم می باشد (Rutten, 2011).

۴-۳- مقیاس

تعاریف متعددی برای مفهوم مقیاس در انواع منابع ذکر شده است. چند نمونه از مهم ترین آن ها به شرح زیر می باشند.

- مقیاس به عنوان یک فرآیند برای مقایسه یک بنا با یک مرجع یا معیار ثابت تعریف می شود (Ramzi and

(Muffeq, 2012:72).

- 1- Form diversity
- 2- Jiang
- 3- Iterative
- 4- Metaheuristic
- 5- Design Builder
- 6- Dynamo Studio
- 7- David Rutten
- 8- Component
- 9- Input
- 10- Genome
- 11- Fitness

- از نقطه نظر علمی، مقیاس عموماً به عنوان اندازه ظاهری درک شده از یک بنا تلقی می‌گردد. (Weber and Vosscoetter,2008:220).

- مقیاس ارتباط تنگاتنگی با نحوه برداشت یا قضاوت ما از اندازه یک بنا یا فضا در مقایسه با یک چیز دیگر دارد. این مقایسه می‌تواند براساس یک معیار تایید شده یا یک واحد اندازه گیری استاندارد باشد. مقیاس یک نقشه معماری در واقع ابعاد بنای ترسیم شده در مقایسه با واقعیت را برای ما بیان می‌کند. درحالی‌که تناسبات، مرتبط با یک سری روابط ریاضی منظم در میان ابعاد یک فرم یا فضا می‌باشد (D.K. Ching,2015:341).

۴-۳-۱- انواع مقیاس

مقیاس در قالب چند کانسپت از دید معماران مختلف در بخش معماری مطرح شده است که عبارتند از: مقیاس انسانی، مقیاس برونی یا زمینه گرا، مقیاس درونی، مقیاس بصری و مقیاس مکانیکی.

الف- مقیاس انسانی^۱: مقیاس انسانی مرتبط با ابعاد و تناسبات انسانی می‌باشد (Weber and Vosscoetter,2008:220). در معماری مقیاس انسانی بر اساس ابعاد و تناسبات بدن یک انسان تعریف می‌شود. در برخی از فضاها با مقیاس انسانی قادر خواهیم بود تا دیوارها و سقف‌ها را با کمک یک صندلی یا چهارپایه با دست لمس کنیم. در مواردی که چنین امکانی وجود ندارد، عناصری همچون مبلمان، نرده‌های راه پله، طاقچه پنجره و نعل درگاه درب‌ها نه تنها امکان قضاوت در مورد اندازه یک فضا را به ما می‌دهند، بلکه یک مقیاس انسانی به فضا می‌بخشند (D.K. Ching,2015:344).

ب- مقیاس بصری^۲: در مقیاس بصری ابعاد یا نسبتی که به نظر می‌رسد یک عنصر در بنا در ارتباط با سایر عناصر که اندازه مشخص یا قابل تشخیصی دارند، دارد. به عنوان مثال وقتی یک شیء دارای مقیاسی مینیاتوری‌گونه است مقصود ما این است که به نظر می‌رسد کوچکتر از اندازه نرمال خود می‌باشد (D.K. Ching,2015:342).

۴-۳-۲- عوامل تأثیرگذار بر مقیاس

از میان سه بعد یک اتاق، ارتفاع آن بیشتر از طول و عرضش بر مقیاس آن تأثیر می‌گذارد. در واقع سقف بالای سر انسان در یک اتاق حس صمیمیت و گرمی و سرپناه بودن به او می‌دهد. علاوه بر بعد ارتفاع در یک فضا، فاکتورهای دیگری هستند که بر مقیاس یک فضا تأثیر می‌گذارند: شکل، رنگ و نوع سطوح دور؛ شکل و موقعیت قرارگیری بازشوها؛ طبیعت و مقیاس عناصر واقع در درون آن (D.K. Ching,2015:345).

۵- یافته‌های تحقیق

۵-۱- شرایط فرضی تعریف شده برای فرم یابی و بهینه سازی سطح غشایی فرم آزاد

در شرایط فرضی هدف، طراحی و فرم یابی یک سطح غشایی چادری مخروطی شکل به عنوان سقف یک سایه بان در مقیاس کوچک با چند قله در وسط می‌باشد. سطح غشایی با یک ضریب مقیاس افزایشی^۳ تبدیل به سقف یک فضای بزرگ می‌شود.

جدول ۱- جزئیات الزامات فرضی طرح (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

طرح اولیه	طرح ثانویه
مساحت حدوداً ۱۰۰ مترمربع است.	مساحت نزدیک به ۱۰۰۰ مترمربع داشته باشد.
میانگین ارتفاع ۴٫۶ متر است.	بیشینه ارتفاع از ۲۰ متر تجاوز نکند.
قطر دایره ۲ متر است.	قطر دایره ۳ متر باشد.
تعداد دایره ۳ عدد است.	تعداد دایره ۳ یا بیشتر باشد.
ارتفاع دایره ۱ تا ۲ متر است.	ارتفاع دایره ۱ تا ۲ متر آزاد بین ۲ تا ۳٫۵ باشد.
دارای مقیاس انسانی مناسبی می‌باشد.	مقیاس انسانی و بصری مناسبی داشته باشد.
در عین داشتن فرمی جذاب، خودنمایی مبالغه آمیز ندارد.	در عین داشتن فرمی جذاب، خودنمایی مبالغه آمیز نداشته باشد.

برای افزایش مقیاس یک فرم سه بعدی، چند برابر کردن همزمان تمامی جزئیات در هر سه بعد فرم، الزاماً تناسبات مقیاس مطلوبی ایجاد نخواهد کرد. از این رو پارامتر تناسبات مقیاس برای سطح غشایی، مورد بهینه سازی واقع می‌گردد. بدین معنی که



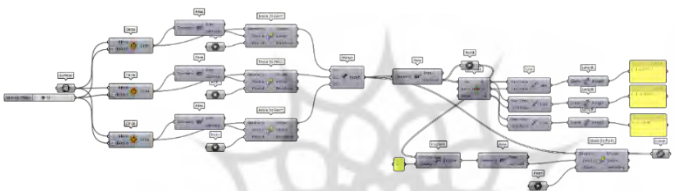
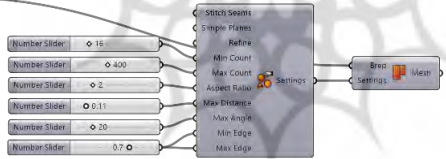

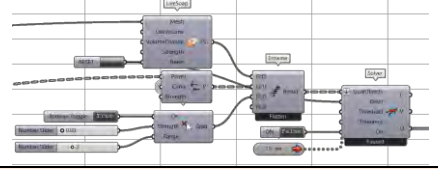

1- Human-scale
2- Visual scale
3- Scale Up

تناسبات سطح غشایی به عنوان سقف یک فضای بزرگ بایستی طوری تنظیم شود تا فرم کلی طرح مقیاس بصری متناسبی را در ذهن بیننده تداعی کند. جزئیات الزامات فرضی طرح در جدول ۱ ذکر شده است.

۵-۲- فرم یابی هندسی سطح غشایی فرم آزاد

سطح غشایی مورد نظر در هفت مرحله به شرح جدول ۲ طراحی و فرم یابی شد.

جدول ۲- فرم یابی هندسی سطح غشایی فرم آزاد (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

(۱) انتخاب روش فرم یابی	
فرم یابی رایانشی توسط نرم افزار راینو و پلاگین گرس هاپر و افزونه کانگورو	
(۲) تعیین پارامترهای هندسی و شرایط مرزی و محدوده	
یک منحنی فرم آزاد بسته در پیرامون و تعدادی منحنی بسته در داخل آن به عنوان شرایط مرزی و محدوده غشا	
(۳) مدل سازی هندسی	
مدل سازی شرایط مرزی و سطح اولیه به صورت پارامتریک	
(۴) مش بندی	
ایجاد یک مش توسط کامپوننت Mesh Brep برای سطح اولیه	
(۵) مشخص کردن نقاط تکیه گاهی	
تعریف تمامی نقاط ابتدایی و انتهایی خطوط مش واقع بر روی منحنی ها به عنوان نقاط تکیه گاهی	
(۶) مشخص کردن نیروها	
تعریف نیروی کششی فیلم صابون برای اعمال بر روی مش ها	
(۷) انجام فرم یابی	
آغاز فرآیند فرم یابی با اجرای موتور فیزیکی کانگورو	

۳-۵- بهینه سازی معماری سطح غشایی فرم آزاد

بهینه سازی سطح غشایی فرم آزاد فرم یابی شده براساس پارامتر معماری تناسبات مقیاس و مطابق با شرایط تعریف شده در جدول ۱ انجام گرفته است که تمامی مراحل آن در ادامه به تفصیل بررسی و بیان شده است.

۳-۵-۱- انتخاب روش بهینه سازی

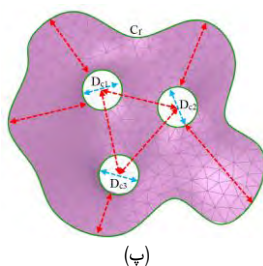
از میان انواع روش های بهینه سازی از پلاگین گرس هاپر و افزونه گالا پاکوس استفاده شده است که برای بهینه سازی های تک هدفه براساس روش بهینه سازی فرا اکتشافی و الگوریتم ژنتیک، پاسخ های بهینه را در اختیار کاربر قرار می دهد.

۳-۵-۲- تعریف مسأله بهینه سازی

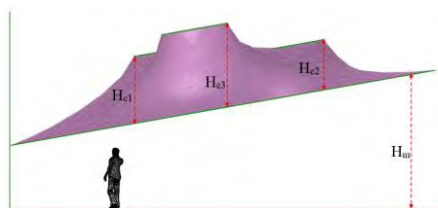
در این پژوهش سعی بر این است تا تناسبات سطح غشایی فرم یابی شده به عنوان سقف یک فضای بزرگ طوری تنظیم شود تا ضمن برآورده ساختن الزامات فرضی مطرح شده در جدول ۱، فرم کلی طرح، مقیاس بصری متناسبی را در ذهن بیننده تداعی کند. پارامترهای هندسی که در فرآیند فرم یابی مورد استفاده قرار گرفته و نام های اختصاری آن ها در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳- پارامترهای هندسی و نام اختصاری تعریف شده برای آن ها (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

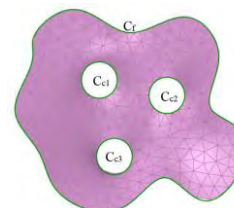
نام اختصاری	پارامتر هندسی	نام اختصاری	پارامتر هندسی
H_m	میانگین فاصله عمودی تمامی نقاط مش غشایی از تصویر همان نقاط بر سطح زمین	H_{m2}	میانگین فاصله عمودی تمامی نقاط مش سطح غشایی از تصویر همان نقاط بر سطح زمین
H_s	مقدار ارتفاع استاندارد تعیین شده توسط طراح برای میانگین فاصله نقاط روی سطح غشایی فرم آزاد از تصویرشان بر سطح زمین	H_{c1} H_{c2} H_{c3}	فاصله عمودی صفحه ای که هر دایره از سه دایره درون منحنی بر روی آن واقع شده از صفحه ای که منحنی بیرونی بر آن واقع شده
D_{c1} D_{c2} D_{c3}	قطر منحنی های C_{c1} و C_{c2} و C_{c3}	C_{c1} C_{c2} C_{c3}	دایره های درون منحنی فرم آزاد
C_f	منحنی فرم آزاد بیرونی	S_f	مساحت تصویر منحنی هندسی C_f بر روی سطح زمین
S_{fz}	مساحت تصویر منحنی هندسی C_f بر روی سطح زمین پس از تغییر مقیاس	S_s	مساحت تعیین شده توسط طراح برای تصویر منحنی هندسی C_f در سطح ثانویه بر روی سطح زمین
F_{sc}	ضریب مقیاس برای منحنی هندسی C_f	F_M	ضریب جابجایی برای غشای فرم یابی شده



(پ)



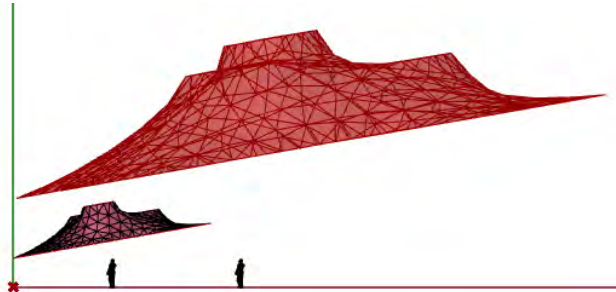
(ب)



(ف)

شکل ۱- (الف) منحنی های هندسی C_f و C_{c1} و C_{c2} و C_{c3} ؛ (ب) پارامترهای هندسی H_m و H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} ؛ (پ) پارامترهای هندسی D_{c1} و D_{c2} و D_{c3} و فاصله آن ها از یکدیگر و نیز فاصله آن ها از مرز بیرونی سازه (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

غشای فرم آزاد اولیه فرم یابی شده برای مقیاسی کوچک برای پوشش سطحی با مساحت ۱۰۰ متر مربع طراحی شده بود که طبق الزامات طراحی بایستی با مقیاس افزایشی^۱ ابعاد آن چند برابر شود تا تبدیل به پوششی برای سقف یک فضا با مساحت حدود ۱۰۰۰ متر مربع گردد. اما بایستی توجه کنیم که برای تبدیل فضایی با ۱۰۰ متر مربع مساحت به فضایی با ۱۰۰۰ متر مربع مساحت، بایستی مساحت ۱۰ برابر شود و چون مساحت توان دوم ابعاد می‌باشد، ضریب مقیاس بایستی عددی در حدود جذر ۱۰ یعنی عدد تقریبی ۳ باشد.



شکل ۲- سه برابر کردن ابعاد فرم اولیه با ضریب مقیاس افزایشی ۳ (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

ذکر این نکته ضروری است که برای رعایت تناسبات مقیاس برای رسیدن به مقیاس بصری مناسب، با π برابر شدن مساحت الزاماً سایر پارامترها هم π برابر نخواهد شد و ضریب مقیاس برای سایر پارامترها بایستی از طریق آزمون و خطا به صورت بصری و با در نظر گرفتن تمامی عوامل تأثیرگذار، توسط طراح بدست آمده و در طرح ثانویه اعمال شود. به عنوان مثال قطر دایره‌ها در حالتی که مساحت زیر سقف غشایی ۱۰۰ متر مربع است، برابر با ۲ متر می‌باشد با اعمال ضریب مقیاس ۳، اگر قطر دایره‌ها ۳ برابر شده و به حدود ۶ متر برسد و دایره ای با قطر ۶ متر از چند منظر برای این سقف مناسب نخواهد بود. بنابراین ضریب مقیاس تک تک پارامترهای هندسی غشا در سه بعد طول (X) و عرض (Y) و ارتفاع (Z) بایستی به صورت مجزا بررسی شوند. با بررسی شکل ۲ که در آن تمامی پارامترهای هندسی غشای اولیه با ضریب مقیاس یکسان ۳، در سه بعد افزایش ابعاد داشته، چند نکته اساسی مطرح می‌شود که بایستی مورد بررسی و بازبینی واقع گردد. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: مسائل سازه ای و مسائل معماری.

۵-۳-۲-۱- مسائل سازه‌ای

در صورتی که حلقه‌های دایره ای ۳ برابر شده و با ابعادی به بزرگی ۶ متر طراحی شوند، ایجاد انقطاع در مسیر نیروها در ابعاد بزرگ به سادگی قابل اعمال نیست و بایستی با آنالیزهای سازه ای و پیش بینی تمهیدات سازه ای در جهت تأمین پایداری کلی سازه مورد ارزیابی دقیق واقع گردد که ممکن است منجر به افزایش بی رویه هزینه پروژه نیز گردد. پارامترهای هندسی D_{c1} و D_{c2} و فاصله آن‌ها از یکدیگر و نیز فاصله آن‌ها از مرز بیرونی سازه یعنی منحنی هندسی C_f (شکل ۱ پ) همگی از جمله عوامل سازه ای تأثیرگذار در محاسبات سازه ای و پایداری و متعاقباً تعیین ضریب مقیاس آن‌ها می‌باشند. زاویه شیب ایجاد شده، الگوی برش، موقعیت و ابعاد دکل‌ها و غیره از دیگر چالش‌ها می‌باشند که بایستی مورد بررسی و ارزیابی واقع شوند. اگر پارامترهای هندسی H_m و H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} سه برابر آترناتیو اولیه شوند، الزاماً نیروها و مقاومت دکل‌ها و ابعاد و قطر دکل‌ها مطابق قبل پاسخگوی نیروهای وارده در حالت ثانویه نخواهند بود و نیاز است مجدداً تمامی موارد سازه ای ارزیابی و محاسبات لازم تکرار شود و ابعاد و اندازه‌های جدیدی پیش بینی شده و ضریب مقیاس ارتفاع متناسباً تعیین گردد.

۵-۳-۲-۲- مسائل معماری

از لحاظ بصری با مقایسه سقف غشایی طراحی شده در شکل ۲ در حالت اولیه و حالتی که پارامترهای هندسی منحنی‌های C_f و C_{c1} و C_{c2} و C_{c3} و پارامترهای هندسی H_m و H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} با ضریب مقیاس ۳، افزایش مقیاس داشته اند بدون وجود پرسوناژ، تفاوتی احساس نمی‌شود و ناظر درک صحیحی از اندازه و ابعاد سقف غشایی نخواهد داشت. بنابراین تمامی این پارامترها بایستی توسط طراح مورد بازبینی واقع شوند. برای رعایت تناسبات مقیاس بصری به جهت آن که بتوان با مشاهده فرم کلی بنا ابعاد تقریبی آن را تخمین زد بایستی ضریب مقیاس متفاوتی برای تک تک پارامترهای هندسی تعریف شود. به عنوان مثال تعداد دایره‌ها بایستی افزایش یابد و پارامترهای هندسی D_{c1} و D_{c2} و D_{c3} با ضریب مقیاس معقول افزایش یابد و محل قرارگیری آن‌ها و ارتفاع آن‌ها در قالب پارامترهای هندسی H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} به دقت توسط طراح مشخص گردد. در اینصورت است که به درک

مناسبی از مقیاس بصری دست خواهیم یافت. ضریب مقیاس پارامتر هندسی H_m نیز در مقیاس بصری بسیار تأثیرگذار بوده و بایستی طراح با دقت آن‌ها را مورد بررسی و بازبینی قرار دهد.

۵-۳-۲-۳- جمع بندی و تعریف مسأله بهینه سازی پژوهش

در مسأله بهینه‌سازی این پژوهش از میان تمامی مسائل مطرح شده و قابل بررسی، به بررسی و بهینه‌سازی سه مسأله اساسی پرداخته شده است:

- ۱- دستیابی به مساحت ۱۰۰۰ مترمربعی و تعیین مقدار ضریب مقیاس F_{Sc}
- ۲- کنترل تعداد و موقعیت منحنی‌های هندسی C_{c1} و C_{c2} و C_{c3} ، تعیین مقدار پارامترهای هندسی D_{c1} و D_{c2} و D_{c3} و H_{c1} و H_{c2} و H_{c3}
- ۳- دستیابی به مقدار مناسب ضریب جابجایی F_M

۵-۳-۳- مشخص کردن متغیرها و محدوده آن‌ها

متغیرهای وابسته مسأله بهینه‌سازی به شرح زیر می‌باشد:

- تعداد منحنی‌های هندسی C_{c1} و C_{c2} و C_{c3} که تغییرات لازم در آن به صورت کیفی در بخش بهینه‌سازی کیفی صورت می‌گیرد.
- پارامترهای هندسی که محدوده آن‌ها براساس اعداد بدست آمده به صورت تجربی بین بازه‌ای از اعداد حقیقی واقع شده‌اند، عبارتند از: مقدار پارامترهای هندسی H_m و H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} و H_s ؛ ضریب مقیاس F_{Sc} ؛ ضریب جابجایی F_M ؛ پارامترهای هندسی D_{c1} و D_{c2} و D_{c3} ؛ مقدار پارامترهای S_s و S_f .

۵-۳-۴- مشخص کردن توابع هدف

متناسب با مسأله بهینه‌سازی چند تابع هدف تعریف شد که به صورت جداگانه بهینه‌سازی و نتایج آن ارزیابی شده است.

جدول ۴- توابع هدف (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

$F1 = (S_2) - (S_s) /$	تابع هدف اول
تعیین تعداد منحنی‌های هندسی C_{c1} و C_{c2} و C_{c3} و موقعیت آن‌ها و مقدار پارامترهای هندسی H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} و D_{c1} و D_{c2} و D_{c3} به صورت کیفی	تابع هدف دوم
$F3 = (H_m) - (H_s) /$	تابع هدف سوم

۵-۳-۵- انجام بهینه‌سازی

الزامات معماری را می‌توان از دو جنبه کمی و کیفی برای بهینه‌سازی معماری مورد ارزیابی قرار داد. نکته قابل توجه در فرآیند بهینه‌سازی معماری این است که بسیاری از پارامترها همچون پارامترهای مرتبط با بحث‌های سازه‌ای، انرژی، هزینه و جانمایی اجزای پلان^۱ که در پژوهش‌های متعدد به آن‌ها پرداخته شده است، کمی بوده‌اند و به واسطه امکان استخراج داده‌های عددی از پارامترهای کمی و ورود آن به نرم افزارهای بهینه‌سازی بیشتر مورد استقبال پژوهشگران واقع شدند. از این روست که بسیاری از پارامترهای معماری همچون موارد مرتبط با فرم و ایده طراحی و مسائل زیبایی‌شناختی و غیره کیفی بوده و اغلب وابسته به نظر طراح می‌باشد. بدین ترتیب پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی به دو نوع کیفی و کمی انجام گیرد. در بهینه‌سازی کیفی، فرم به لحاظ کیفی و بصری توسط طراح مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. چنانچه طرح مورد تأیید طراح نباشد طراح به مرحله طراحی بازگشته و پارامترهای ورودی را مطابق نظر خود تغییر داده و وارد چرخه می‌کند و نتیجه مجدداً مورد ارزیابی واقع می‌شود و این روند تا حصول به نتیجه مطلوب ادامه می‌یابد. در بهینه‌سازی کمی، پارامترهای هندسی و آن دسته از پارامترهای کمی که به روش آزمون و خطا و در حالت رفت و برگشتی به یک سری پارامترهای هندسی و کمی ترجمه شده‌اند، در قالب داده‌های عددی وارد فرآیند بهینه‌سازی شده و پاسخ‌های بهینه استخراج شده از نرم افزار مجدداً از دید طراح معمار ارزیابی می‌شود و در صورت نیاز به تغییر، طراح به مرحله طراحی بازگشته و پارامترهای ورودی را تغییر داده و وارد چرخه می‌کند و نتیجه مجدداً مورد ارزیابی واقع می‌شود و این روند تا حصول به نتیجه مطلوب ادامه می‌یابد.

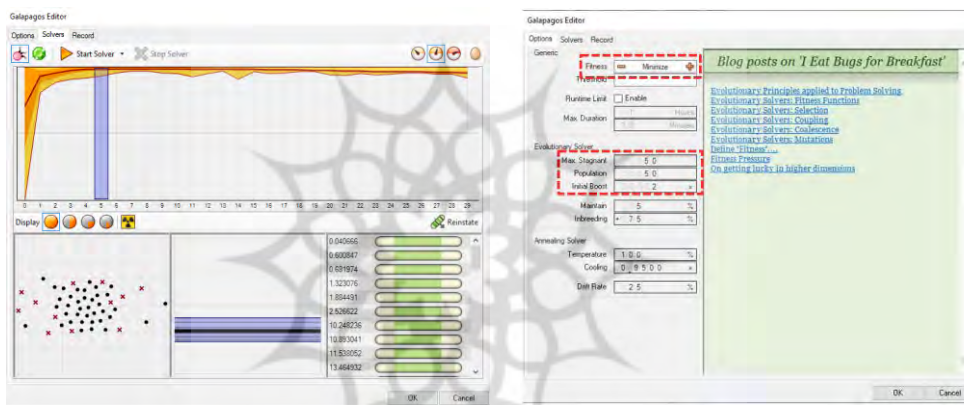
۵-۳-۱- بهینه سازی تابع هدف اول

همانطور که در جدول ۱ اشاره شد، مساحت طرح ثانویه بایستی حدود ۱۰۰۰ مترمربع باشد. از آنجایی که سطح فرم یابی شده به صورت یک فرم آزاد می‌باشد، انجام محاسبات لازم برای یافتن ضریب مقیاس F_{Sc} با محاسبات دستی بسیار دشوار و گاهاً غیرممکن می‌باشد، از روش بهینه سازی کامپیوتری برای حل این مسأله و یافتن پاسخ بهینه تابع هدف اول استفاده شده است.

جدول ۵- داده های مورد نیاز برای بهینه‌سازی تابع هدف اول (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

متغیرهای وابسته	مساءله	تابع هدف اول (متغیر مسقل)
F_{Sc}	$S_s \rightarrow 1000$	$F1 = (S_{f2}) - (S_s) $
S_s	$F1 \rightarrow Min$	
S_{f2}	$F_{Sc} \rightarrow ?$	
	$S_{f2} \rightarrow ?$	

برای بهینه سازی ابتدا معادله تابع هدف در محیط گرس‌هاپر نوشته شد و متغیرهای آن در معادله جایگذاری شد. در ادامه، متغیر F_{Sc} به عنوان متغیر مستقل به ورودی ژنوم افزونه گالاپاگوس و عدد نهایی مربوط به پاسخ معادله تابع هدف به عنوان متغیر وابسته به قسمت ورودی فیتنس افزونه گالاپاگوس متصل شد. تنظیمات گالاپاگوس مطابق شکل ۳ (الف) تعیین گردید و نهایتاً با اجرای گالاپاگوس فرایند بهینه سازی تک هدفه انجام شد (شکل ۳ (ب)).



(ب)

(الف)

شکل ۳- (الف) تنظیمات گالاپاگوس برای تابع هدف اول؛ (ب) بهینه سازی تابع هدف اول (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

جدول ۶- ده پاسخ آخر نسل پنجم ارائه شده برای تابع هدف اول (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

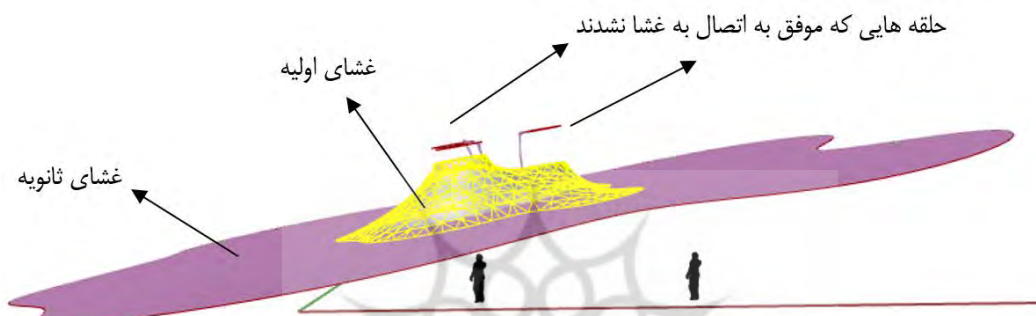
Genome	Freeform Surface Area (S_{f2})	Scale Factor (F_{Sc})	Standard Area (S_s)	Function1 (F1)
Genome[0]	۱۰۰۰.۰۴۰۶۶۶	۳.۱۱۸	۱۰۰۰	۰.۰۴۰۶۶۶
Genome[1]	۱۰۰۰.۶۰۰۸۴۷	۳.۱۱۹	۱۰۰۰	۰.۶۰۰۸۴۷
Genome[2]	۱۰۰۰.۶۸۱۹۷۴	۳.۱۱۷	۱۰۰۰	۰.۶۸۱۹۷۴
Genome[3]	۱۰۰۱.۳۲۳۰۷۶	۳.۱۱۶	۱۰۰۰	۱.۳۲۳۰۷۶
Genome[4]	۱۰۰۱.۸۸۴۴۹۱	۳.۱۲۱	۱۰۰۰	۱.۸۸۴۴۹۱
Genome[5]	۱۰۰۲.۵۲۶۶۲۲	۳.۱۲۲	۱۰۰۰	۲.۵۲۶۶۲۲
Genome[6]	۱۰۱۰.۲۴۸۲۳۶	۳.۱۳۴	۱۰۰۰	۱۰.۲۴۸۲۳۶
Genome[7]	۱۰۱۰.۸۹۳۰۴۱	۳.۱۳۵	۱۰۰۰	۱۰.۸۹۳۰۴۱
Genome[8]	۱۰۱۱.۵۳۸۰۵۲	۳.۱۳۶	۱۰۰۰	۱۱.۵۳۸۰۵۲
Genome[9]	۱۰۱۳.۴۶۴۹۳۲	۳.۰۹۷	۱۰۰۰	۱۳.۴۶۴۹۳۲

تک تک پاسخ های تابع هدف محاسبه و بررسی شد. جدول ۶ ده پاسخ آخر نسل پنجم را نشان می‌دهد. از میان این پاسخ ها بهینه ترین مقدار برای ضریب F_{Sc} که منجر به مینیمم شدن تابع هدف F1 شد عدد ۳.۱۱۸ بود که با اعمال آن مقدار تابع هدف

F1 به مینیمم مقدار ۰,۰۴۰۶۶۶ رسیده و مقدار پارامتر S_{f2} برابر با ۱۰۰۰,۰۴۰۶۶۶ مترمربع محاسبه شده بود. بدین ترتیب بهینه سازی کمی برای تابع هدف اول در این مرحله به پایان رسید. ذکر این نکته ضروری است که تمامی محاسبات انجام شده در این فرآیند برای مقادیر متفاوت برای پارامتر S_s قابل محاسبه می‌باشد.

۵-۳-۲- بهینه سازی تابع هدف دوم

در قسمت قبل مقدار ضریب F_{Sc} برای مساحت منحنی فرم آزاد C_f بدست آمد و در این مرحله با در دست داشتن پاسخ مسأله اول، درصد یافتن پاسخ دومین مسأله برآمدیم. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با اعمال ضریب F_{Sc} و تغییر ندادن مقیاس سایر پارامترها، فرمی نامطلوب بدست آمد، که همزمان همراه با فرم اولیه نشان داده شده است. در این حالت همانطور که مشاهده می‌شود، بدلیل تغییر زاویه انحناى غشا، افزونه کانگورو دیگر قادر به تشکیل حباب صابونی بین حلقه های بالایی و حلقه اصلی نبوده است. زیرا با کوچک شدن حلقه‌های رأس و یا تغییر زاویه شیب غشا با حرکت حلقه ها در راستای عمودی، حباب صابون سریعاً می‌ترکد و این موضوع بیانگر آن است که تنش غشا دیگر یکنواخت نیست (وندنبرگ، ۱۹۹۶: ۲۹) و سطح فرم آزاد شکل نمی‌گیرد.



شکل ۴- غشای اولیه، غشای ثانویه و حلقه هایی که موفق به اتصال به غشا نشدند (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

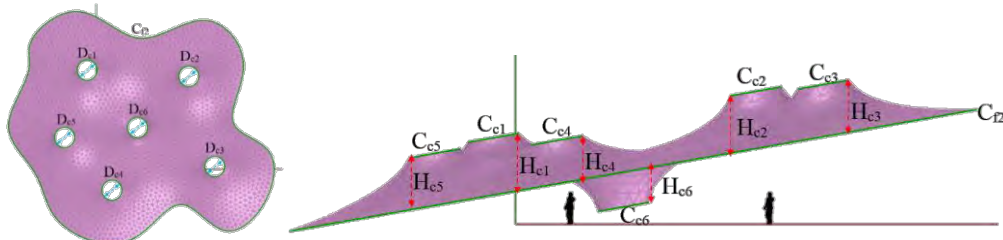
جدول ۷- آلترناتیوهای ارائه شده برای غشای فرم آزاد (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

آلترناتیو اول		
آلترناتیو دوم		
آلترناتیو سوم		

در شکل ۴ به وضوح مشخص است که تعداد و اندازه حلقه ها به لحاظ بصری مقیاس متناسبی نداشته و فرم رضایت بخشی را ارائه نمی‌دهند. از این روست که برای اصلاح حلقه ها، به مرحله اول طراحی بازگشته و با اصلاح تعداد و موقعیت حلقه های دایره ای در مرحله اول طراحی و سپس مدل سازی هندسی، فرآیند فرم یابی هندسی را تکرار کرده و نتیجه را مجدداً مورد ارزیابی قرار دادیم و این چرخه تا زمان حصول به نتیجه مطلوب به صورت کیفی و با ملاک ارزیابی نظر طراح ادامه یافت. بنابراین، با ارائه چند آلترناتیو برای موقعیت و تعداد منحنی های هندسی C_{c1} و C_{c2} و C_{c3} و اندازه پارامترهای هندسی D_{c1} و D_{c2} و D_{c3} و همچنین

مقدار پارامترهای هندسی H_{c1} و H_{c2} و H_{c3} به صورت کیفی نتایج بررسی شد. در جدول ۷ به عنوان نمونه سه عدد از آلترناتیوهای ارائه شده برای پارامترهای فوق الذکر، برای غشای فرم آزاد آمده است.

در نهایت با بررسی مزایا و معایب هر کدام از آلترناتیوها، آلترناتیو سوم انتخاب شد. به عنوان مثال، در آلترناتیو اول، تعداد دایره ها ۴ عدد می باشد که به لحاظ مقیاس بصری و زیبایی شناسی، تعداد و موقعیت آن ها مورد تایید طراح نبود. در آلترناتیو دوم، تعداد دایره ها افزایش یافته و ۵ عدد شده است که در این مورد موقعیت و تعداد دایره ها مطلوب لیکن ارتفاع آن ها دید بصری نامطلوبی از نظر طراح خلق کرده است. بنابراین، در آلترناتیو سوم با برطرف کردن تمامی معایب آلترناتیوهای پیشین، به گزینه مطلوبی دست یافتیم که نظر طراح را در راستای برآورده ساختن الزامات ارائه شده از جنبه های متعدد علی الخصوص تناسبات مقیاس و زیبایی شناسی برآورده ساخته است.



شکل ۵- پارامترهای هندسی آلترناتیو منتخب (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

در جدول ۸ جزئیات اطلاعات مربوط به پارامترهای هندسی آلترناتیو منتخب مورد تایید طراح مطابق با شکل ۵ به تفصیل ذکر شده است.

جدول ۸- جزئیات اطلاعات مربوط به پارامترهای هندسی آلترناتیو منتخب (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

تعداد منحنی های هندسی (حلقه ها)	۶ حلقه	مقدار پارامتر هندسی H_{c3}	۳ متر
اندازه پارامترهای هندسی DC_1 و DC_2 و DC_3 و DC_4 و DC_5 و DC_6	۳ متر	مقدار پارامتر هندسی H_{c4}	۲,۵ متر
مقدار پارامتر هندسی H_{c1}	۳,۳ متر	مقدار پارامتر هندسی H_{c5}	۳ متر
مقدار پارامتر هندسی H_{c2}	۳,۳ متر	مقدار پارامتر هندسی H_{c6}	منفی ۲ متر

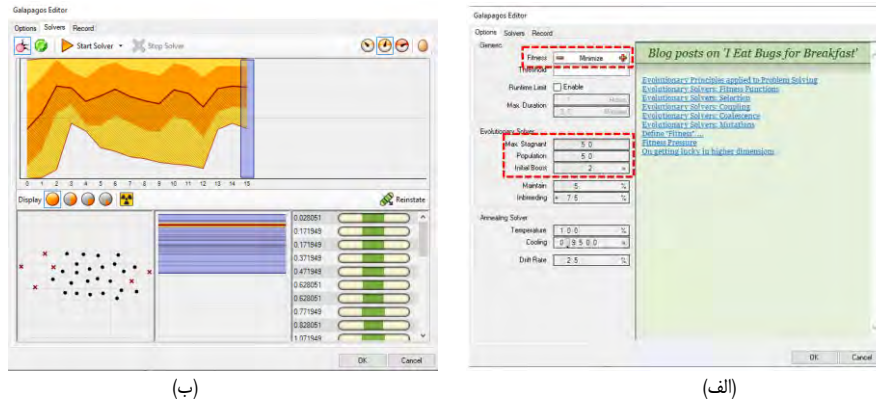
۵-۳-۵-۳- بهینه سازی تابع هدف سوم

تا این مرحله، توابع هدف اول و دوم بهینه سازی شدند و با در دست داشتن داده های لازم برای این مرحله در ادامه با استفاده از آن ها وارد فرآیند بهینه سازی تابع هدف سوم شدیم. ذکر این نکته ضروری است که تمامی مراحل این فرآیند برای مقادیر متفاوت پارامتر H_s اعمال شد و از لحاظ بصری، تناسبات مقیاس توسط طراح ارزیابی و مقایسه و نهایتاً مقدار ۱۰ متر به عنوان مناسب ترین مقدار برای این پارامتر انتخاب گردید. داده های مورد نیاز برای این بخش در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- داده های مورد نیاز برای بهینه سازی تابع هدف سوم (مأخذ: نگارنده)

تابع هدف اول (متغیر مستقل)	متغیرهای وابسته	مسأله
$F_3 = ((H_{m2}) - (H_s))$	F_M	۱۰
	H_s	Min
	H_{m2}	?
		?

فرآیند بهینه سازی برای تابع هدف سوم بدین صورت می باشد که متغیر F_M به عنوان متغیر مستقل به ورودی ژنوم افزونۀ گالاپاگوس متصل شد و عدد نهایی مربوط به پاسخ معادله تابع هدف به عنوان متغیر وابسته به قسمت ورودی فیتنس گالاپاگوس متصل شد. تنظیمات گالاپاگوس مطابق شکل ۶ (الف) تعیین و با اجرای گالاپاگوس فرآیند بهینه سازی تک هدفه برای تابع هدف سوم انجام شد (شکل ۶ (ب)).



شکل ۶- (الف) تنظیمات گالاپاگوس برای تابع هدف سوم؛ (ب) بهینه سازی تابع هدف سوم (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

سپس تک تک پاسخ‌ها محاسبه و بررسی شد و نهایتاً بهینه‌ترین مقدار برای متغیر که منجر به مینیمم شدن تابع هدف F3 شد انتخاب و بر روی طرح اعمال گردید. جدول ۱۰ ده پاسخ آخر نسل پانزدهم را نشان می‌دهد. از میان این پاسخ‌ها بهینه‌ترین مقدار برای ضریب F_M که منجر به مینیمم شدن تابع هدف F3 شد عدد ۵٫۲ بود که با اعمال آن مقدار تابع هدف F3 به مینیمم مقدار ۰٫۰۲۸۰۵۱ رسیده و مقدار پارامتر H_{m2} برابر با ۱۰٫۰۲۸۰۵۱ مترمربع محاسبه شده بود. بدین ترتیب بهینه‌سازی کمی برای تابع هدف سوم در این مرحله به پایان رسید.

جدول ۱۰- ده پاسخ آخر نسل پانزدهم ارائه شده برای تابع هدف سوم (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

Genome	Membrane Height (H_{m2})	Move Factor (F_M)	Standard Height (H_s)	Function2 (F3)
Genome[0]	۱۰٫۰۲۸۰۵۱	۵٫۲	۱۰	۰٫۰۲۸۰۵۱
Genome[1]	۱۰٫۱۷۱۹۴۹	۵٫۰	۱۰	۰٫۱۷۱۹۴۹
Genome[2]	۱۰٫۱۷۱۹۴۹	۵٫۰	۱۰	۰٫۱۷۱۹۴۹
Genome[3]	۱۰٫۳۷۱۹۴۹	۴٫۸	۱۰	۰٫۳۷۱۹۴۹
Genome[4]	۱۰٫۴۷۱۹۴۹	۴٫۷	۱۰	۰٫۴۷۱۹۴۹
Genome[5]	۱۰٫۶۲۸۰۵۱	۵٫۸	۱۰	۰٫۶۲۸۰۵۱
Genome[6]	۱۰٫۶۲۸۰۵۱	۵٫۸	۱۰	۰٫۶۲۸۰۵۱
Genome[7]	۱۰٫۷۷۱۹۴۹	۴٫۴	۱۰	۰٫۷۷۱۹۴۹
Genome[8]	۱۰٫۸۲۸۰۵۱	۶٫۰	۱۰	۰٫۸۲۸۰۵۱
Genome[9]	۱۱٫۰۷۱۹۴۹	۴٫۱	۱۰	۱٫۰۷۱۹۴۹

پارامتر تناسبات مقیاس برای سطح غشایی فرم آزاد فرم یابی شده در سه مرحله در این بخش در قالب سه تابع هدف بهینه سازی گردید. نهایتاً نتایج بدست آمده بر روی فرم نهایی اعمال شد که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد.

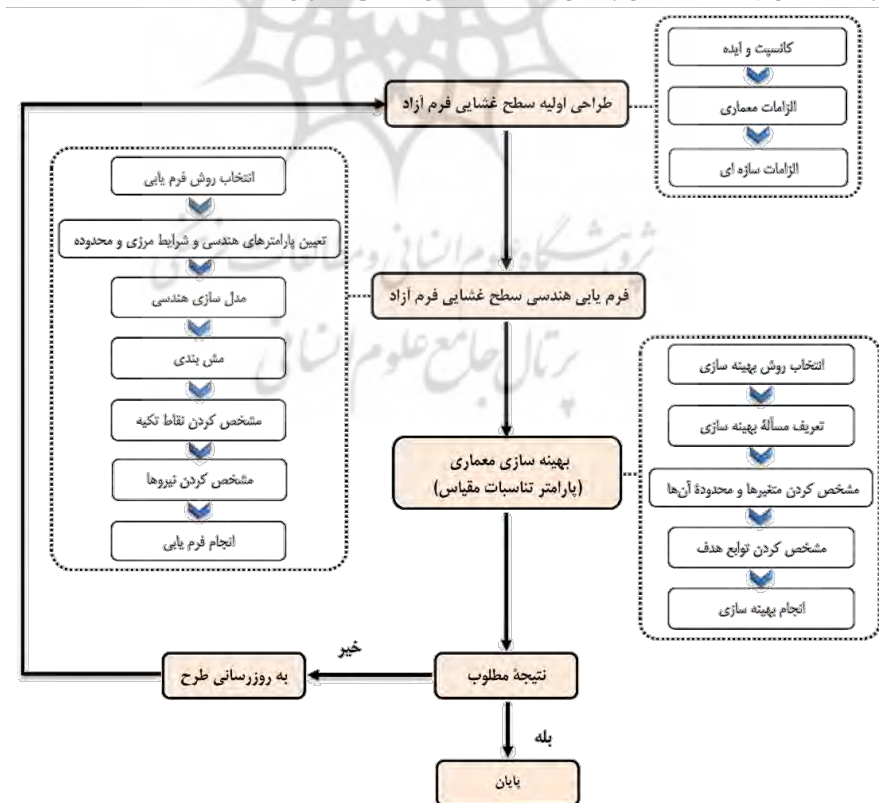


شکل ۷- فرم نهایی غشایی فرم آزاد پس از فرم یابی و بهینه سازی معماری (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

۶- بحث و نتیجه گیری

امروزه مفهوم بهینه سازی به عنوان یکی از مهم ترین مباحث در تمامی زمینه ها به ویژه معماری به شمار می آید. در این تحقیق با هدف ارائه یک الگوریتم برای فرآیند بهینه سازی معماری پارامتر تناسبات مقیاس در طراحی یک سازه های غشایی فرم آزاد، مفهوم بهینه سازی مورد پژوهش واقع شده است. در جهت محقق کردن این هدف در ابتدا پیشینه پژوهش های انجام شده در زمینه بهینه سازی معماری و مفاهیم پایه مرتبط، به طور کامل مطالعه و مورد بررسی قرار گرفت. سپس مبانی نظری مرتبط با سازه های غشایی فرم آزاد، بهینه سازی معماری و انواع روش ها و نرم افزارهای مورد استفاده در این زمینه به ویژه افزونه گالاپاگوس در پلاگین گرس هاپر و نیز پارامتر تناسبات مقیاس مطالعه و بررسی گردید. در ادامه، بر اساس یک سری شرایط فرضی، یک سازه غشایی فرم آزاد از نوع چادری مخروطی فرم یابی و پارامتر تناسبات مقیاس به عنوان یکی از پارامترهای معماری موثر در طراحی برای بهینه سازی معماری سطح غشایی در نظر گرفته شد. فرآیند طراحی، فرم یابی و بهینه سازی مطابق الگوریتم ارائه شده در شکل ۸ صورت گرفت. بهینه سازی از دو جنبه کیفی (توسط نظر طراح) و کمی (توسط افزونه گالاپاگوس در پلاگین گرس هاپر) انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل و ارزیابی یافته ها به شرح زیر می باشد:

- پیاده سازی کانسبت های طراحی به صورت پارامتریک امکان استخراج داده های عددی برای استفاده در مراحل بعدی فرم یابی و بهینه سازی را افزایش داد و موجب شد اعمال تغییرات در هر مرحله با اطمینان از تغییر سایر پارامترهای وابسته به طور خودکار و به سهولت انجام گیرد.
- ترجمه پارامترهای کیفی به پارامترهای کمی موجب شد یک سری داده های عددی جهت ورود به چرخه بهینه سازی- های کمی در نرم افزار استخراج شود.
- بهینه سازی چند هدفه برای یافتن بهینه ترین پاسخ نیاز به ابزارهای کامپیوتری قدرتمند، زمان محاسباتی بسیار طولانی و نیروی کار ماهر داشت که، متعاقباً هزینه های پروژه را افزایش می داد و استفاده از چنین روش هایی برای پروژه بهینه نبود. در بهینه سازی معماری پارامتر تناسبات مقیاس که با چندین پارامتر مستقل به صورت همزمان مواجه بودیم مناسب ترین راهکار، استفاده از چند بهینه سازی تک هدفه و استخراج پاسخ بهینه از تحلیل و جمع بندی تک تک نتایج بود.
- بهینه سازی پارامتر تناسبات مقیاس، شامل مولفه های کیفی متعددی بود که الزاماً همه آن ها نیاز به محاسبات پیچیده برای حصول به نتیجه مطلوب نداشتند و قابلیت آن را داشتند که توسط آزمون و خطا و نظر طراح ارزیابی و بهینه سازی شوند. لذا تلفیق بهینه سازی کمی و کیفی منجر به دستیابی به نتایج مطلوبی گشت.



شکل ۸- الگوریتم نهایی ارائه شده برای فرآیند بهینه سازی معماری پارامتر تناسبات مقیاس در طراحی سازه ی غشایی فرم آزاد (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

در این پژوهش، برای اولین بار برای فرآیند بهینه سازی معماری پارامتر تناسبات مقیاس در طراحی سازه ی غشایی فرم آزاد الگوریتمی (شکل ۸) ارائه گردید که به کمک آن می توان هرگونه سازه غشایی با شرایط مشابه را طراحی و فرم یابی و پارامترهای معماری آن را بهینه سازی کرد. تمامی روش های ارائه شده برای فرم یابی و بهینه سازی صرفاً در جهت کمک به طراح و معمار در راستای افزایش سرعت و سهولت در انجام محاسبات پیچیده و به نوعی دستیار تفکری طراح نیز محسوب می شود. لیکن در نهایت این اندیشه و تفکر طراح است که صفر تا صد جریان طراحی را کنترل می کند و در هر نقطه از فرآیند طراحی، فرم یابی و بهینه سازی که صلاح دید، زمان خاتمه را اعلام می کند.

منابع

۱. سالوادوری ماریو (۱۹۰۷)، «سازه در معماری»، مترجم: محمود گلابچی، چاپ یازدهم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۲. گلابچی محمود و کتابیون تقی زاده و محمدرضا گلابچی (۱۳۹۳)، «پوسته ها و سازه های ورق تاشده»، چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران
3. Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., and Williams, C. (2014). *Shell structures for architecture: form finding and optimization*, Routledge , London and New York.
4. Bletzinger, K.U., Wu'chner, R., Daoud, F., and Camprubi', N. (2005). *Computational methods for form finding and optimization of shells and membranes*, Computer methods in applied mechanics and engineering, Volume 194, Issues 30–33.
5. Ching, F. D. (2015). *Architecture: Form, space, and order*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
6. Piker, D. (2011). Kangaroo.
7. Rutten, D. (2011). Galapagos.
8. Dutta, S., Ghosh, S., and Inamdar, M. (2017). Reliability-based design optimization of frame-supported tensile membrane structures, *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 3(2).
9. Dutta, S., Ghosh, S., and Inamdar, M. (2017). Optimisation of tensile membrane structures under uncertain wind loads using PCE and kriging based metamodels. 57(3). pp. 1149-1161.
10. GERO, J. S. (1973). Architectural optimization-a review. 1(3). pp. 189-199.
11. Henriksson, V., and Hult, M. (2015). Rationalizing freeform architecture-Surface discretization and multi-objective optimization. Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics.
12. Jiang, B., Zhang, J., and Ohsaki, M. (2021). Optimization Of Branching Structures For Free-Form Surfaces Using Force Density Method, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*.
13. Ramzi, H., and Muffeq, M. (2012). Structure as a Tool of Achieving Human Scale in the Islamic Architecture, *International Conference on Transport, Civil, Architecture and Environment engineering*.
14. McNeel, R., and Associates. (2009). Grasshopper.
15. McNeel, R., and Associates. (2013). Rhinoceros.
16. Weber, R., and Vosskoetter, S. (2008). The concept of scale in architecture—three empirical studies. 26(2). pp. 219-246.
17. Wortmann, T., and Nannicini, G. (2017). Introduction to architectural design optimization. *City Networks*, Springer. pp. 259-278.
18. Yousif, S., Clayton, M., and Yan, W. (2018). Towards integrating aesthetic variables in architectural design optimization. 106th ACSA Annual Conference: The Ethical Imperative.
19. Yousif, S., Yan, W., and Culp, Ch. (2017). Incorporating form diversity into architectural design optimization, *Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, Cambridge. pp. 640- 649.