رویکرد طراحی پارامتریک برای ایجاد مقرنس جدید با استفاده از نرم افزار گراس هاپر

پیمان نقی پور*: دانشجوی کارشناسی ناپیوسته مهندسی حرفه‌ای معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ایران
peyman.naghipour@yahoo.com
الناز شکویی زاده: کارشناس ارشد مهندسی معماری، عضو هیات علمی دانشکده مهارت و کارآفرینی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
zara.elsha@yahoo.com

چکیده

طراحی پارامتریک یکی از روش‌های نوین و فراگیر در طراحی‌های امروزه‌ی جهان است. طراحی در این روش بر پایه‌ی پارامترهای طرح و روابط بین این پارامترها است و همچنین معماری را وارد عرصه‌ی جدیدی در فرم شناسی و روش‌شناسی کرده است. در دهه‌های اخیر، جست‌وجوی نوآوری‌های هندسی جدید مورد توجه معماران و هنرمندان معاصر بوده است و سعی می‌کنند از استفاده مکرر از جزئیات تزئینی تاریخی سبک‌ها و سفارش‌های معماری یا عدم وجود چنین تزییناتی در سبک مدرن فرار کنند. در این راستا مقاله حاضر برای اولین بار در جهان سعی شده است تا رویکرد طراحی پارامتریک برای ایجاد مقرنس جدید با استفاده از نرم‌افزار گراس هاپر ارائه داده شود. سوالات تحقیق بر این قرار هستند که؛ آیا با نرم‌افزار گراس هاپر می‌توان طرح‌های مقرنس جدید با استفاده از طرح‌های الگوریتمی و پارامتریک ایجاد کرد؟ آیا با نرم‌افزار گراس هاپر می‌توان یک مقرنس جدید بین الگوهای هندسی حاصل از نظم کیهانی و واحدهای پایه مقرنس تولید کرد؟ در این راستا هدف از انجام این پژوهش در این مقاله بر آن است تا مبنایی برای ایجاد عناصر مقرنس جدید بر اساس ماهیت کیهانی معماری اسلامی، اما همچنان با حفظ مفاهیم آن، فراهم کند. مقرنس به این دلیل انتخاب شد که یکی از بدیع‌ترین اختراعات معماری اسلامی و یکی از مؤثرترین و گسترده‌ترین کاربردهای آن است. روش تحقیق این مقاله بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای یک پژوهش کاربردی با هدف معرفی و تفصیل است. یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد نوآوری در طراحی آن نیازمند آزادی بیان است که می‌تواند توسط نرم‌افزار طراحی محدود شود. علاوه بر این، فرآیند آزمایش ایده‌ها می‌تواند خسته‌کننده و زمان بر باشد. طراحی پارامتریک و مولد با استفاده از نرم‌افزار گراس هاپر برای فرمول‌بندی مجدد فرآیند تولید مقرنس با استفاده از برنامه‌نویسی بصری VisuaI استفاده می‌شود، از دیگر یافته‌های این مقاله، طراحی پارامتریک و الگوهای هندسی فرضی در جهت آرایه بندی خطی یا قطبی، مقرنس‌هایی به وضوح مشخص می‌سازد. در نهایت، در این مقاله به این باور می‌رسیم که برای ارائه بهتر و سریع‌تر و واقعی‌تر برای ایجاد مقرنس جدید به صورت پارامتریکی نیاز به نرم‌افزار گراس هاپر امری اجتناب‌ناپذیر است.

واژه‌های کلیدی: مقرنس، معماری اسلامی، پارامتریک، گراس هاپر، الگوریتمی.

۱- مقدمه

مقرنس، عنصری تزئینی است که در ایران پدید آمد و یکی از نمونه وارترین عناصر معماری اسلامی[۱] است که به عنوان تحولی عظیم در دیگر قلمروهای معماری بسط یافته است. این عنصر، دارای فرورفتگی‌ها و برجستگی‌هایی از روی نظم و قاعده می‌باشد، که در بعضی موارد به شکل استالاکتیت آویزان است و در حقیقت این نوع تزئین معماری نوعی تزئین حجم پردازی برداشت می‌شود که تعاریف و معانی متنوعی را در بر دارد. مقرنس‌ها[۲] را می‌توان از جمله عناصر مؤثر در ساختن گنبدها دانست، که بعدها کاربرد اولیه را از دست داده و بیشتر برای تزئین به کار رفته است (Dold; 1992). مقرنس‌ها معمولاً در سطوح فرورفته‌ی گوشه‌های زیر سقف کار می‌شوند اما محل قرارگیری این عنصر تزئینی می‌تواند در بالای دیوارها، سقف‌ها[۳]، گوشه‌ها، سردرها و مانند آن‌ها باشد (Golombek; 1988).

معماری پارامتریک یک پروسه‌ی بر پایه تفکر الگوریتمیک می‌باشد که یک سری پارامتر و قوانین همراه یکدیگر روابط بین "هدف طراحی" و نتیجه طراحی را تعریف و روشن می‌کنند. طراحی پارامتریک یک پارادایم طراحی است که در آن روابط بین المان‌ها، تکثیر هندسه و فرم‌های پیچیده را رقم می‌زند. کلمه پارامتریک از مبحث معادله پارامتریک در ریاضیات منشأ می‌گیرد و اشاره به استفاده از پارامترها و متغیرهای مشخص که می‌باشد که می‌توان با تغییر آن‌ها نتیجه یک سیستم یا معادله را ویرایش کرد (Jabi, 2017).

نرم‌افزار گراس هاپر یک نرم‌افزار نوپا و تخصصی است که در ایران بیشتر در زمینه مدل‌سازی معماری و طراحی پارامتریک المان‌های معمارانه یا اصطلاحاً گراس هاپر معماری کاربرد دارد. طراحی‌های پارامتریک و الگوریتمیک با کمک گراس هاپر در کسری از ثانیه قابل تغییر و ویرایش هستند.

گراس هاپر تحول بسیار بزرگی در مدل‌سازی پارامتریک معماری به وجود آورد. به این دلیل که اکثر معماران و طراحان داخلی به زبان‌های برنامه‌نویسی کامپیوتری تسلط ندارند و گرافیکی بودن عناصر برنامه‌نویسی به آن‌ها کمک می‌کند تا بتوانند طراحی‌های پارامتریک خود را در قالب الگوریتم و محاسبات ریاضی دقیق، کد نویسی کنند (Katona, 2020).

این مقاله قصد دارد از چنین مواردی نیز استفاده کند تا پایه‌ای برای تولید طرح‌های مقرنس جدید با استفاده از طرح‌های الگوریتمی و پارامتریک[۴] ایجاد کند که از حفظ ماهیت کیهانی معماری اسلامی در تزئینات[۵] موجود در بناهای تاریخی اسلامی اطمینان حاصل کند.

۲- سوالات پژوهش

آیا با نرم‌افزار گراس هاپر می‌توان طرح‌های مقرنس جدید با استفاده از طرح‌های الگوریتمی و پارامتریک ایجاد کرد؟

آیا با نرم‌افزار گراس هاپر می‌توان یک مقرنس جدید بین الگوهای هندسی حاصل از نظم کیهانی و واحدهای پایه مقرنس تولید کرد؟

۳- هدف تحقیق

هدف از انجام این پژوهش در این مقاله بر آن است تا مبنایی برای ایجاد عناصر مقرنس جدید بر اساس ماهیت کیهانی معماری اسلامی، اما همچنان با حفظ مفاهیم آن، فراهم کند. مقرنس به این دلیل انتخاب شد که یکی از بدیع‌ترین اختراعات معماری اسلامی و یکی از مؤثرترین و گسترده‌ترین کاربردهای آن است.

۴- روش تحقیق

در هیچ یک از پژوهش‌های پیشینی که انجام شده، تحلیل جزئیات مقرنس و روند کار با نرم‌افزار گراس هاپر برای ایجاد مقرنس جدید به صورت پارامتریکی مطرح نشده است و مهارت لازم در زمینه گراس هاپر این امکان را می‌دهد تا با دقت بیشتری جزئیات این دو بررسی شود. البته تجربه در نرم‌افزار گراس هاپر می‌تواند کمک شایانی در پیشبرد تحقیق داشته باشد لذا سعی شده تا با بررسی تمام موارد لازم و کاربردی این تحقیق به سرانجام مطلوب و مورد نظر برسد.

۵- مبانی نظری

۵-۱- معماری اسلامی

معماری اسلامی مجموعه عظیمی از سبک‌های متنوع را در طول تاریخ یک ساله یونگ خود گنجانده است. شکل آن تحت تأثیر سبک‌های معماری رومی، بیزانسی، ایرانی، هندی و چینی به دلیل گسترش گسترده اسلام از شمال آفریقا تا شرق آسیا و بخش‌هایی از اروپا بود (Echtner; 1999).

مبانی معماری اسلامی بر اساس اصول اولیه طبیعت آمیخته با چندین نظریه هندسی ایجاد شد که تناسبات کامل و مفاهیم نمادین را بیان می‌کرد. او واژگان هندسی خود را بر اساس آنچه در محیط اطراف آن‌ها مشاهده شده بود، در تلاش برای ایجاد یک سری نسبت‌های کدگذاری شده که ممکن است راحتی روانی ما را با ساختمان‌ها بهبود بخشد، پیدا کردند (Ettinghausen; 1957).

طراحان هنر اسلامی هندسه را به دلیل جنبه درونی آن ترجیح دادند. هندسه[۶] با انتزاع و ظرفیت انتقال و افشای حقایق عینی و معنوی مشخص می‌شود. هندسه نمایانگر تناسبات زیبایی است که برای هنرمندان مسرایم (Musr Iim)، تعبیر عینیت است که ماهیت اساسی زیبایی در نظر گرفته می‌شود (Farooqi; 1992).

۵-۲- الگوهای هندسی اسلامی

در هنر اسلامی، عناصر هندسی از بدو تولدش مورد استفاده قرار گرفته‌اند و برای ایجاد فرم‌های هندسی منحصربه‌فرد، به‌عنوان ساختار زیربنایی فرآیند طراحی اسلامی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هندسه بخش اصلی و قابل توجه هنر و معماری اسلامی است. این وسیله دیداری است که به وسیله آن ذهن انسان[۷] می‌تواند نظم و هماهنگی به ارث رسیده در خلقت را درک کند. علاوه بر این، آن را به عنوان نمایش تصویری از الگوهای ریاضی که در همه جا در انسان، طبیعت و جهان یافت می‌شود، در نظر می‌گیرند. این الگوها با ویژگی‌های هنری و فلسفی خود، در چشم‌اندازهای دوم معماری اسلامی گنجانده شده‌اند (Faruqi; 1977).

نقوش هندسی اسلامی قرن‌ها به عنوان زیورآلات روی دیوارها، سقف‌ها، درها و گنبدها مورد استفاده قرار گرفته است. با این حال، تعداد زیادی از راهنماها و کدها برای استفاده از این زیورآلات اغلب از نظر دقت و سبک معماری، استفاده نامناسبی را به همراه دارد (Gonzalez; 2002).

۳-۵- زیورآلات اسلامی

هنر و معماری اسلامی با تزئین و تکرار مشخص می‌شود. میزانی که یک فرم دارای یک کارکرد معماری و تزئینی است، ارزش کلی آن را در زمینه اسلامی تا حدی تعیین می‌کند که برای زیبایی‌شناسی غربی ناشناخته است (Wang; 2014). برای هنر و معماری غربی. برعکس، در معماری اسلامی، این دو جزء از هم جدا نیستند.

همان‌طور که گفته شد، این اجزای اصلی دکوراسیون اسلامی فقط برای مشخص کردن ژست‌های خرخر نیست، بلکه یک بعد فلسفی و اجتماعی دارند. هرچه بیشتر توضیح دهید، اعداد برای یک فیثاغورثی الهی بودند، و درک روابط بین آن‌ها می‌تواند به درک ماهیت جهان کمک کند (Graham; 2005).

تزئینات هندسی اسلامی را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم کرد: الگوهای دو بعدی و سه بعدی. الگوی ستاره نمونه‌ای دوباره از این دسته است. گوری دوم مقرنس است که یک ساختار زینتی سه بعدی است (Yu; 2015).

۴-۵- مقرنس

مقرنس از عناصر تزئینی معماری است که در زیباسازی بناهای ایرانی با کاربری‌های مختلف نقش مهمی دارد. قابلیت هندسی که در مقرنس وجود دارد موجب شده است تا مورد توجه معماران قرار گیرد و در دوره‌های مختلف تاریخی توسعه یابد و مقرنس‌ها از نظر شکل و اجرا تفاوت‌هایی نسبت به همدیگر دارند و انواع متفاوتی از هندسه‌ها در شکل‌گیری مقرنس به کار رفته است (Kazempourfard; 2016). در (جدول ۱) تقسیم بندی مقرنس از نظر شکلی با ذکر نمونه بناها بیان شده است. مقرنس به عنوان زیباترین عنصر تزئینی برای پوشاندن گوشه‌های خالی گاهی به صورت سقف کاذب و یا روی دیوارها در قسمت بالا به صورت کتیبه و یا روی سرستون‌ها با مصالح مختلف ساخته می‌شود. از لحاظ واژه‌شناسی در فرهنگ لغت معین کلمه مقرنس بدین صورت معنی شده:

۱- آنچه به شکل نردبان و پله پله ساخته شده.
۲- بنای بلند مدور ایوان آراسته و مزین با صورت‌ها و نقوش که بر آن با نردبان پایه روند.
۳- فسمتی زینت که در اطاق ها و ایوان‌ها به شکل‌های گوناگون گچبری کنند، کنگره‌دار، قرنیز دار.
۴- هر چیز رنگارنگ
۵- اسم قسمی عمامه و کلاه.

مقرنس عنصری تزئینی سه بعدی متشکل از عناصر عمودی و افقی یا به عبارتی نوعی کاربندی متشکل از طاسه هایی است که در ردیف‌هایی انتظام می‌یابند، و هر ردیف خود حامل ردیف دیگری است که از بالای آن بیرون می‌زند و می‌تواند نقش سازه‌ای و تزئینی در بنا را بر عهده گیرد.

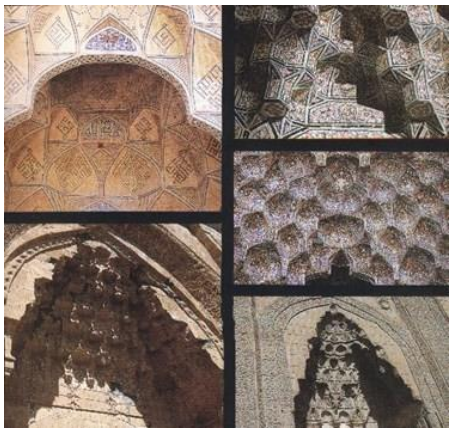
جدول ۱- تقسیم بندی مقرنس از لحاظ شکلی. (ماخذ: نگارندگان)

تقسیم بندی مقرنس از لحاظ شکلی	توضیحات	تقسیم بندی مقرنس
مقرنس های جلو آمده	مصالح آن آجر، در سطوح داخل و خارج بنا به کار می روند و دارای ثبات متوسطی	 مسجد جامع اشتر جان ماخذ: نگارندگان
مقرنس های روی هم قرار گرفته	مصالح آن از خود بنا می باشد (سنگ و گچ) استحکام آن ها زیاد است.	 مقرنس بازار تبریز ماخذ: نگارندگان

مقرنس های معلق	شبیه همان منشور های آهکی آویزان (استلاکتیت) در غارها می باشد.	مدرسه آقا بزرگ کاشان ماخذ: نگارندگان
مقرنس های لانه زنبوری	شبیه لانه زنبور و از نظر شکل ظاهری شبیه به مقرنس های معلق	مسجد جامع یزد ماخذ: نگارندگان

همان‌طور که قبلاً گفته شد، مقرنس یک سازه تزئینی سه بعدی منحصربه‌فرد در معماری اسلامی است. به همان اندازه که مجموعه یونیک از معماری یونانی-رومی است، جزئی از زبان بومی معماری اسلامی است. هدف آن ارائه یک انتقال بین، برای نمونه سابق، یک پایه مربع و یک گنبد یا فقط یک راه و سقف است (Geyer; 2008).

مناطق مختلف در دنیای اسلامی از شیوه‌های متفاوتی از تکنیک‌های ساخت‌وساز در تاریخ خود استفاده کرده‌اند. برخی کراوات را تزئین کرده‌اند. برخی آن‌ها را بدون پوشش به منظور بلند کردن مقرنس‌ها و ایجاد جلوه‌های مسحورکننده با نور و سایه‌ها برداشته‌اند (شکل ۱).



شکل ۱- سبک‌های مختلف مقرنس (ماخذ: Brend; 1991)

از ترکیبات مقرنس می‌توان در معماری معاصر استفاده کرد. ترکیب سطوح مقعر و محدب می‌تواند در بسیاری از ضایعات، از اتصالات تا اجزای ساختمانی کوچک‌تر، همان‌طور که در برخی از آثار یورن اوتزون نشان داده شده است، اعمال شود.

۵-۵- منشأ

مقرنس در قرن دهم هم در شمال شرق ایران و هم در مرکز آفریقای شمالی، دو انتهای پهنه پراکنده دریای اسلامی، توسعه یافت. این یکی از ویژگی‌های برجسته در اکثر سازه‌های اسلامی قرن یازدهم و دوره‌های بعد شد، و به عنوان یک عنصر حیاتی از معماری بومی اسلامی تا دوران مدرن باقی ماند.

۶-۵- ساختار

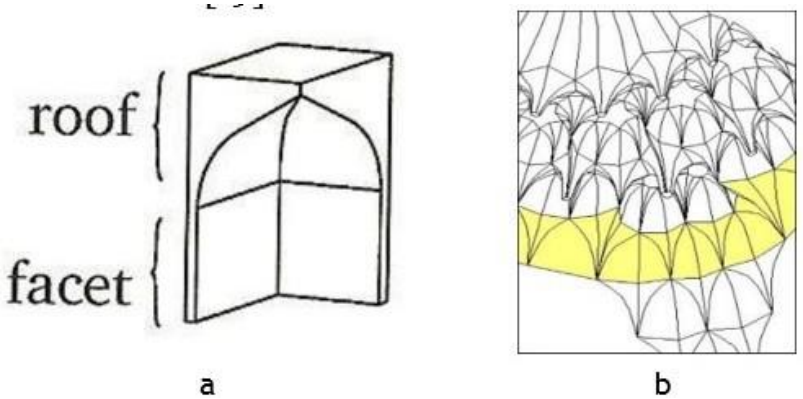
در اینجا به چهار ویژگی اصلی مقرنس اشاره می‌شود که ظاهر آن را متمایز می‌کند. اولاً سه‌بعدی است و درنتیجه صدا را در ساختارهای داخلی فراهم می‌کند. ثانیاً، درجه اندازه آن متغیر است. این تنوع در رقیب معماران برای بازسازی مقرنس‌ها یا به عنوان یک معماری برای پشتیبانی از یک سازه و یا به عنوان یک ابزار تزئینی دوباره به وجود آمد. ثالثاً، مقرنس هیچ حد و مرز ریاضی ندارد (Hillenbrand; 1994). این به دلیل اندازه‌های مختلف لنگرهای آن به‌عنوان نتیجه‌ای از انتقالی است که مقرنس بین دو شکل، شکل یا اندازه‌های مختلف انجام می‌دهد. با در نظر گرفتن این موضوع، شاید بهتر باشد که نقوش لانه زنبوری مقرنس را با گورهایی مانند فراکتالی مقایسه کنیم (Nowotniak; 2012). فراکتال، یک گوری هندسی که با یک معادله ساده جبری مشخص می‌شود، جامعه‌پذیری (aIso) هیچ تقلید یا مرزی نمی‌شناسد و می‌تواند تا حد قدرت تصور کند. در نهایت، چهارمین ویژگی مقرنس این است که، به دلیل حجم متغیر آن، یک واحد سه بعدی می‌تواند به راحتی به یک گوری دو بعدی تبدیل شود که دارای یک الگوی دو بعدی است (جدول ۲) (Ling; 2002).

جدول ۲- بررسی دیدگاه های مختلف در مورد مقرنس (ماخذ: نگارندگان)

پژوهشگران		منبع	دیدگاه
پژوهشگران خارجی	دونالد ن. ویلبر	معماری ایران در دوره ایلخانان	مقرنس به‌عنوان عنصری تزئینی معرفی شده است و مقرنس برای پر کردن یک ناحیه یا سطح مقعر با دو یا چندطبقه ربع گنبدی کوچک که در آن رأس ربع گنبدها در هر طبقه از طبقه زیر پیش‌آمده‌تر است، تعریف کرده‌اند
	هانری مارتین	مقرنس تزئینی در آثار تاریخی اسلامی ایران	مقرنس عنصر تزئینی مشخص اسلامی است.
	بورکهارت	بن مایه‌های هنر اسلامی در اندیشه تیتوس بورکهارت	مقرنس کاری پدیده‌ای ویژه از معماری اسلامی و وسیله‌ای برای انتقال بار گنبد یا دایره بر محوری مربع‌شکل است. مقرنس، کندووار گنبد را به تکیه‌گاه چهارگوش پیوند می‌دهد و انعکاسی از حرکت آسمانی در نظم زمینی و بی‌ثبات است (جنبه کارکردی و تزئینی).
پژوهشگران داخلی	عباس زمانی	مقرنس تزئینی در آثار تاریخی اسلامی ایران	در این مقاله مقرنس به سه دسته تقسیم‌بندی شده است: ۱- مقرنس در سطوح مقعر گوشه‌های زیر سقف، ۲- واحد مقرنس ربع گنبد یا در واقع یک‌هشتم گره، ۳- مقرنس از ردیف‌ها و یا قطارهای افقی و عمودی، ۴- مقرنس‌های لانه‌زنبوری. در هر سه مورد به‌صورت عنصر تزئینی معرفی گردیده است.
	مهدی مکی‌نژاد	کاشی کاری مقرنس در معماری ایرانی	این عنصر در ابتدا، بیشتر جنبه‌های ساختمانی داشت و برای پر کردن گوشه‌ها استفاده می‌شد، اما به‌مرور زمان علاوه بر کارکرد ساختمانی و فنی، جنبه‌های تزئینی نیز به خود گرفت.
	حسین لرزاده	احیای هنرهای ازیادرفته	مقرنس به آنچه به شکل نردبان و پله‌پله ساخته‌شده باشد گفته می‌شود (جنبه تزئینی).
	محمد کریم پیرنیا	مجله اثر	مقرنس (چفت‌آویز) از سقف آویخته می‌شود و از سقف شروع می‌شود و به‌تدریج پایین می‌آید (جنبهٔ تزئینی).

گرچه مقرنس دارای حساسیت پیچیده‌ای است، اما شکل آن با قوانین ثابتی که روابط بین اجزای آن را دیکته می‌کند، مشخص می‌شود. این را می‌توان بیشتر در تعریف مقرنس ارائه شده توسط ریاضیدان تیموری قرن هفتم AI-Kashi مشاهده کرد:

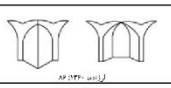
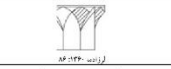
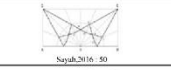
مقرن ها یک قفسه‌ای است که دارای وجوه و سقفی صاف است. هر وجهی یکی از وجه مجاور را در یک زاویه راست، یا نیم زاویه راست، یا مجموع r یا ترکیب دیگری از این دو، قطع می‌کند. این دو وجه را می‌توان به صورت ایستاده در صفحه‌ای موازی با افق در نظر گرفت. در بالای آن‌ها یک سطح صاف، نه موازی با افق، یا دو سطح، اعم از صاف یا منحنی، وجود دارد که سقف[9] را تشکیل می‌دهند (Leaman; 2004). هر دو وجه، با هم در پشت بام، یک سلول نامیده می‌شوند (شکل ۲). این سلول‌ها در مسیرهای افقی قرار گرفته‌اند، به‌عنوان یک طاق تاقدار، که سطح مفصل افقی در هر سطح شکلی متمایز دارد (Rao; 2012).



شکل ۲- a) حجره مقرنس b) حجره‌هایی که به صورت افقی چیده شده‌اند (ماخذ: Al-Ghazali; 1996)

AI-Kashi از اصطلاحات هندسی استفاده می‌کند که نشان می‌دهد مقرنس فضایی است که در آن یک محاسبات ریاضی خاص اجرا می‌شود. در این مسئله، تعداد احتمالی جایگشت‌ها با تغییرات در زاویه ۹۰ تعیین می‌شود. همان‌طور که aI-Kashi نشان می‌دهد، زاویه که در آن دو وجه تلاقی می‌کنند، می‌تواند هر زاویه قابل تصوری باشد، به عنوان طولانی (بلند) که به یک زاویه راست، یا نیمی از زاویه راست، یا مجموع r، یا ترکیب دیگری از این دو (Shimoda; 2014). در (جدول ۳) آلت‌های مقرنس با توجه به شکل و جهت و موقعیت قرارگیری آن‌ها دسته بندی شده است.

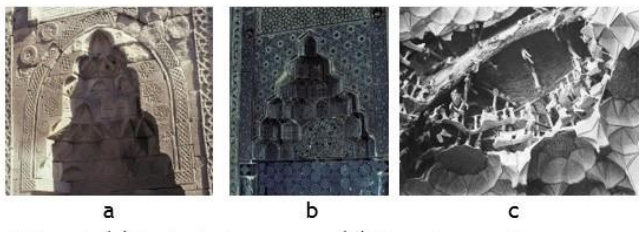
جدول ۳- اجزای سازنده مقرنس (ماخذ: نگارندگان)

نام اجزا	شکل	جهت	محل	توضیح
موش پا	محمدیان و فرامرزی، ۱۳۹۲: ۴۸	شیب‌دار بین عناصر	قسمت پایین گنبد	آلتی که از قطار اول به دیوار متصل شده و کمی بر روی دیوار امتداد می‌یابد.
شاپرک		۳ بهار	مابین قطارها	عامل اتصال آلت‌های مقرنس و متناسب با محلی که قرار می‌گیرد از بسیار بسته تا بسیار باز قابل‌انعطاف است.
تخت منظم		افقی	به دو حالت در مقرنس دیده می‌شود: ۱) مثلث، مربع، پنج‌ضلعی و... ۲) به‌صورت ستاره‌های چند پر: سه پر و چهارپر و	
تخت غیرمنظم		افقی	مابین تنوره‌ها و کتیج طاسه ها	مانند تخت گیوه، تخت ضلع و یا تخت مثلث، مانند: آلت‌های گره به کار گرفته می‌شوند.
تخت لوزی		افقی	کمی از حالت افقی خارج	بر روی قطر بزرگ و یا قطر کوچک، کمی تا می‌شود
طاس	 ارزنده، ۱۳۶۰: ۸۶	شیب‌دار و یا افقی		بین دو شاپرک و بین دو ترنج و گاه بین دو افقی، قرار می‌گیرد و فضاهای فرورفته مقرنس را به وجود می‌آورد
ترنج	 ارزنده، ۱۳۶۰: ۸۶	شیب‌دار		زیر شمسه یا آجر هر کار و یا زیر آلت‌های تخت و چهار تاقچه به کار می‌رود.
شمسه	 Sayah,2016 : 50	شیب‌دار و یا افقی		در وسط هر چشمه یا نیم کار مانند عرقچین در پایان کار قرار می‌گیرد.
مدنی	Yaghan, 301: 2001	شیب‌دار و یا افقی		هرگاه طاسی به‌جای ارتفاع معادل یک قطار، دارای ۲ و یا ۳ ارتفاع شود و طاسی مرتفع را تشکیل دهد به آن مدنی می‌گویند.
تی	Kashef ,۲۰۶۶ : 2017	شیب‌دار و یا افقی		هرگاه ما بین دو طاس شاپرکی قرار بگیرد و در واقع شاپرک صفر درجه باشد. دو طاس به یکدیگر می‌چسبند و ضخامتی معادل دو کاشی پشت‌به‌پشت به وجود می‌آورند

۵-۷- روش‌های ساخت‌وساز

یکی از جنبه‌های اساسی درک ماهیت ساختاری مقرنس‌ها، درک روش‌های ساخت آنهاست. مقرنس‌ها به سه صورت ساخته می‌شوند: بریده، روی هم و معلق (Stierlin; 2002). مقرنس چوبی، سازه‌ای است که از سنگ یا چوب ساخته شده است. مقرنس‌ها قبل و بعد از مونتاژ به سمت بیرون از وسط وجه دو طرف تراشیده شده‌اند (شکل ۳ (a)). برای ایجاد یک مقرنس روی هم قرار گرفته است. قطعات مقرنس زمانی در برابر وجوه سر مقعر ساخته می‌شوند و هیچ فضای خالی بین مقرنس و سطح نگهدارنده ایجاد نمی‌کنند (شکل ۳ (b)). مقرنس معلق مجموعه‌ای از شیشه‌های تزئین شده با سطح است.

اجزای صفحه بر روی زمین تولید می‌شوند، سپس با استفاده از دنده‌های اتصال به ساختار معماری متصل می‌شوند، این روش با فضایی بین و سازه مشخص می‌شود (شکل ۳ (c)).



a b c

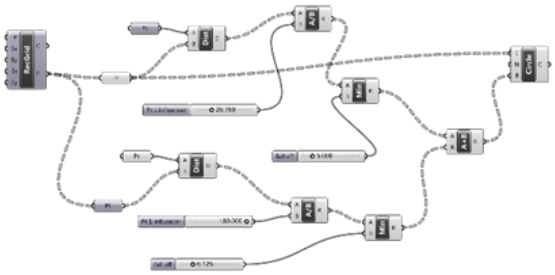
شکل ۳- a) مقرنس‌های مرکب b) مقرنس‌های روی هم قرار گرفته c) مقرنس‌های معلق در حال تعمیر. دنده‌های اتصال و فضاهای خالی بین سطح مقرنس و دیوارها نمایان است. (ماخذ: Arjmandi; 2011)

۵-۸- طراحی الگوریتمی و پارامتریک

چه از آن به عنوان طراحی پارامتریک، چه مدل سازی مولد یا طراحی محاسباتی یاد شود، به معماران و طراحان آزادی فشار خارجی داده و فرآیند آزمایش ایده‌ها را کمتر خسته‌کننده و وقت‌گیر کرد. در نتیجه، ساختن الگوهای بسیار پیچیده با تکرارهای متعدد برای رسیدن به بهترین و کارآمدترین نتیجه، برای معمار جهانی قابل دسترسی است.

۵-۹- برنامه نویسی بصری VisuaI

برنامه نویسی VisuaI پارادایم برنامه نویسی کامپیوتری است که در آن کاربر به جای textuaIIy، graphicaIements Iogic (منطق گرافیکی) را دستکاری می‌کند. برخی از شناخته‌شده‌ترین زبان‌های برنامه‌نویسی textuaI مانند C#، VisuaI Basic، Python و Rhinoscript نیاز به کدی برای نوشتن دارند که توسط نحو خاص زبان محدود شده باشد. در مقابل، برنامه نویسی visuaI به ما این امکان را می‌دهد که biocks تابع را به دنباله‌ای از اقدامات متصل کنیم که در آن " (syntax) سینتکس" onIy مورد نیاز این است که ورودی‌های biocks داده‌هایی از نوع مناسب را دریافت کنند (شکل ۴) و ideaIIy، که با توجه به نتیجه مورد نظر سازماندهی شده است.



شکل ۴- دیاگرام گره (اشکال) از پسوند یا پلاگین نرم‌افزار در راینو به نام گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

۶- یافته ها

۶-۱- مقرنس جدید

استفاده از این قدرتمند (برنامه نویسی VisuaI) در فرآیند تولیدی طراحی مقرنس جدید می‌تواند به چندین روش تبدیل شود که می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای مفهوم طراحی مورد استفاده قرار گیرد. روشی که در این مقاله انتخاب شده است، یک مفهوم اصیل اسلامی است که به «مربع‌های جادویی» معروف است.

مقرنس عنصری تزئینی هندسی است که با نقطه، خط، سطح و حجم سروکار دارد. در مقرنس‌های تزئینی با هدف ایجاد سایه روشن و القای خطوط مختلف، سطوح بیش‌تری را برای اجرای تزئینات ظریف‌تری چون آجرچینی، گچ بری، موزاییک‌کاری و نقاشی و غیره فراهم می‌آورد. این عنصر تزئینی در بناهای اسلامی (مسجد و بازار و...) مورد استفاده قرارگرفته و از لحاظ کثرت استعمال و از نظر تعدّد مواد و نیز از جهت وسعت عالم اسلام اهمیت ویژه‌ای دارد. در (جدول ۴) طرح های مختلف مقرنس که تمام مقرنس ها توسط نگارندگان ایجاد شده است.

جدول ۴- طرح های مختلف مقرنس (ماخذ: نگارندگان)

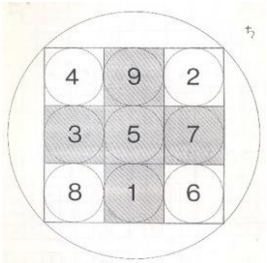
کاربرد	طرح‌های مقرنس	شکل	طرح‌های مقرنس	شکل
سرستون (مناره)	مقرنس ۳ قطاره مربع (برای سرستون دایره)		مقرنس ۴ قطاره مربع (برای سرستون مربع)	
	مقرنس ۴ قطاره آویزه دارمربع (برای سرستون دایره)		مقرنس ۸ قطار برای زیر گنبد	
نیمکار مربع	مقرنس ۵ قطاره تنوره برای نیمکار مربع		مقرنس ۶ قطاره برای نیمکار مربع	
نیمکار	مقرنس ۶ قطاره		مقرنس ۷ قطار تنوره‌دار	
چشمه	مقرنس ۳ قطاره برای چشمه		مقرنس ۴ قطاره برای چشمه	
کتیبه	مقرنس ۳ قطاره		مقرنس ۵ قطاره	
قاب سازی و گیلویی	مقرنس ۶ قطاره		مقرنس ۴ قطاره	
گیلویی	مقرنس ۷ قطاره تنوره دار آویزه دار برای گیلویی		مقرنس ۵ قطاره برای کتیبه با گیلویی	

۲-۶- مربع‌های جادویی

مربع‌های جادویی موارد آشکاری از هارمونی ذاتی عدد هستند، و بنابراین به‌عنوان مفسر نظم کیهانی که بر همه هستی‌ها مسلط است، عمل خواهند کرد. به نظر می‌رسد که آن‌ها به برخی از هوش پنهان خیانت می‌کنند که با یک برنامه از پیش ساخته شده، تصور طراحی عمدی را ایجاد می‌کند.

احساسات بالا همان احساسات پائو کاروس در پیشگفتار او برای کار دوم W.S. Andrews در زمینه میدان‌های جادویی گرست بود که در سال ۱۹۱۷ منتشر شد. این نگرش چندان متفاوت از نگرش سنتی ایامی نبود. منشأ ریاضیات ثانیاً، جنبه کیفی عدد (که مربع‌های جادویی یک تقویت‌کننده قبلی هستند) نسبت به کمیت صرف اهمیت و در نتیجه اثربخشی متافیزیکی بیشتری دارد. بنابراین، به عنوان بیان کهن الگوها، اعداد بسیار بیشتر از «عقل صرف» کاروس هستند، زیرا آنها نه حفظ می‌کنند، بلکه در شکل عناصر زمینی کاملاً هماهنگ با مفاهیم فیزیک مدرن نفوذ می‌کنند. از طریق این واقعیت مهم، آنها می‌توانند در طرح چیزها مفید باشند و شاخه‌ای از علم را در آن‌ها نشان دهند.

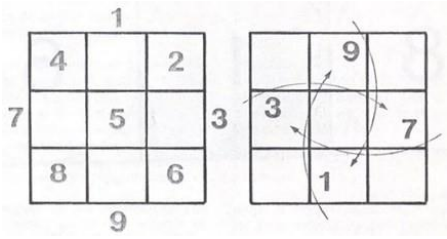
در مورد ما، ما در وهله اول به مفهوم مربع‌های جادویی توجه داریم، و از آنجایی که تکرارهای مختلفی از الگوهای مربع جادویی وجود دارد، برای مخفف، از مربع ۳×۳ زحل (خورشید) (شکل ۵) استفاده می‌شود، زیرا یکی از ابتدایی‌ترین و آسان‌ترین برای درک الگوهای مربع جادویی است. با این حال، استفاده از روش تولید ارائه شده در این مقاله تنها به این نوع الگوی مربع جادویی تقلید نمی‌شود و این یکی از مزایای استفاده از طراحی پارامتریک و الگوریتمی است که ماهیت انعطاف‌پذیری در اجرای مفاهیم جدید و دستیابی به نتایج متفاوت بسیار فوری است.



شکل ۵- ۳×۳ مربع زحل (خورشید) (ماخذ: نگارندگان)

همان‌طور که نشان داده شد، یک مربع ۳×۳ از کهن الگوی زحل، که تقارن بین اعداد فرد و زوج را با شماره نشان می‌دهد. هشت راه ممکن برای مرتب کردن اعداد بیرونی حول مرکز شکل "۵" وجود دارد.

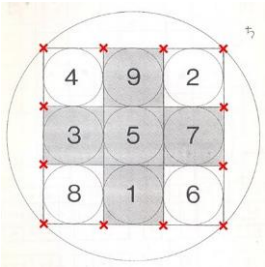
شکل زیر روش چیدمان اعداد را در توالی گرافیکی توضیح می‌دهد. این مجدداً در پنج رقم داخل مربع (۲، ۴، ۵، ۶ و ۸) قرار می‌گیرد که بقیه خارج از آن هستند. سپس اعداد منحنی نشان می‌دهند که چگونه این ارقام برای ایجاد یک الگوی احتمالی بازآرایی می‌شوند که از خطوط مربع ۳×۳ زحل (خورشید) جلوگیری می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶- بازآرایی ارقام فرد در مربع جادویی (ماخذ: نگارندگان)

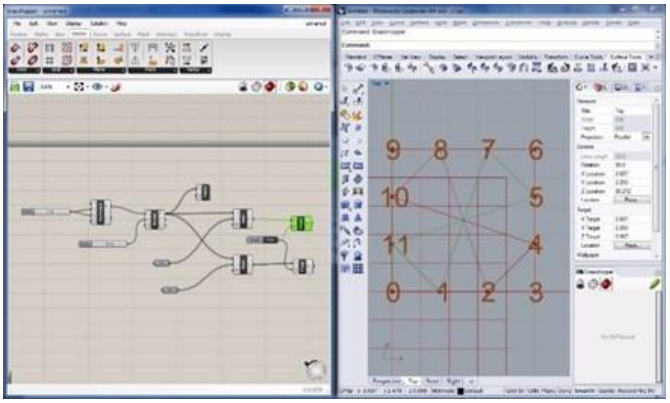
۳-۶- ایجاد یک الگوی هندسی دوبعدی اسلامی

اتخاذ این روش بازآرایی و اعمال پارامتریک آن، برای تولید یک الگوی هندسی، گام بعدی خواهد بود. اما ابتدا، محیط بیرونی مربع به رئوس تقسیم می‌شود تا به این فرآیند کمک کرده و پیاده‌سازی آن در نرم‌افزار پارامتریک (Grasshopper) آسان‌تر شود (شکل ۷).



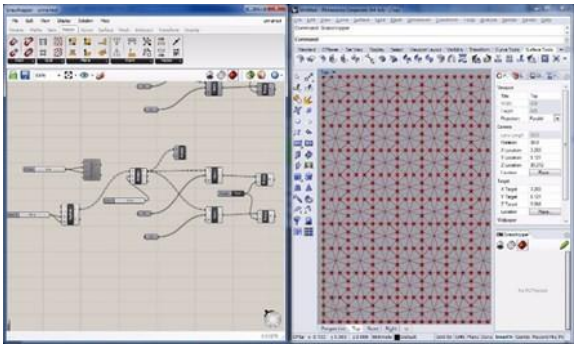
شکل ۷- قرار دادن رئوس بر روی شبکه محیطی بیرونی مربع جادویی (ماخذ: نگارندگان)

با توجه به آن، تشبیهی از مربع جادویی در Grasshopper ایجاد می‌شود. رئوس محیطی برای اهداف توضیحی شماره‌گذاری می‌شوند. با استفاده از روش بازآرایی مربع جادویی که قبلاً مشخص شده است، مورب‌های متصل کننده lines روی y بین رئوس اعداد فرد متقابل ترسیم می‌شوند (شکل ۸). برای مشخص کردن، مورب line بین راس ۱۰ و ۴ حرکت عدد ۳ به شبکه عدد ۷ را نشان می‌دهد و line بین رأس ۵ و ۱۱ نشان‌دهنده حرکت شماره ۷ به سمت تکرار شماره ۳ در شبکه مربع جادویی است.



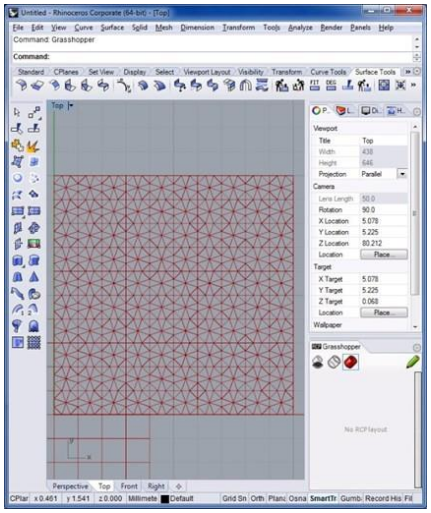
شکل ۸- الگوی تولید به عنوان قیاسی از روش بازآرایی مربع جادویی - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

با چیدمان این الگو در یک شبکه، یک الگوی هندسی دو بعدی تولید می‌شود (شکل ۹).



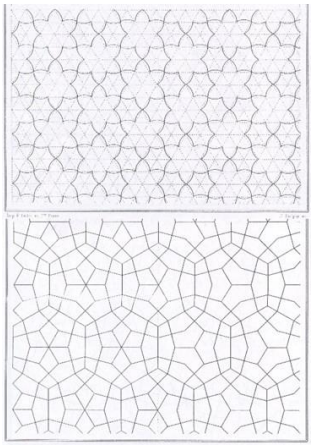
شکل ۹- الگوی هندسی دو بعدی به دست آمده از فرآیند تکرار - ایجاد شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

سپس الگوی دوبعدی استخراج می‌شود (شکل ۱۰) تا آن را با الگوهای اصلی الگوهای هنری هندسی معماری اسلامی که در «الگوها و طراحی هندسی عربی» توسط J. Bourgoin وجود دارد، مقایسه شود. و در مفهوم اصلی و ردیابی lines و منحنی‌ها مشخص کنید که به کدام الگو شبیه است.



شکل ۱۰- الگوی هندسی دو بعدی به دست آمده از فرآیند تکرار - ایجاد شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

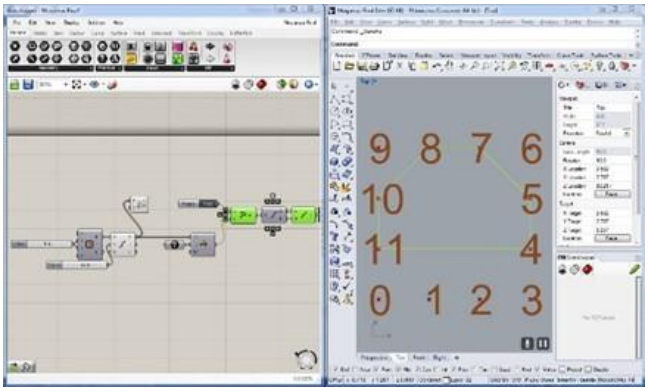
در نتیجه، دو الگوی هندسی برای شباهت در رابطه بین محور و نقطه مرکزی الگو انتخاب شد (شکل ۱۱)، و این نشان می‌دهد که الگوی تولید شده به عنوان طرح اسلامی در نظر گرفته شود.



شکل ۱۱- الگوهای هندسی اسلامی تولید شده در مفهوم اولیه از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

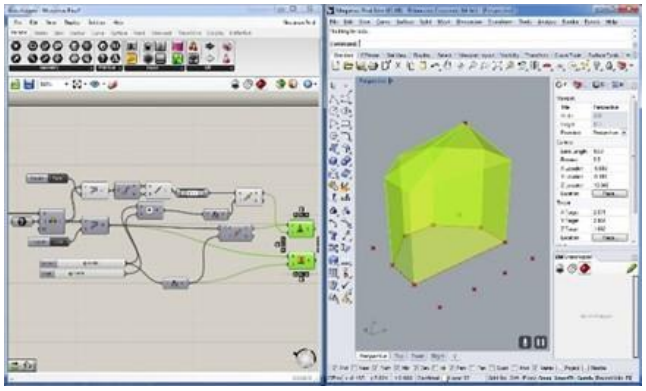
۴-۶- تبدیل الگوی دو بعدی به مقرنس سه بعدی

تشکیل یک مرز دو بعدی برای اکسترود کردن (شکل ۱۲) و استفاده در فرآیند حالت سه بعدی اولین گام خواهد بود.



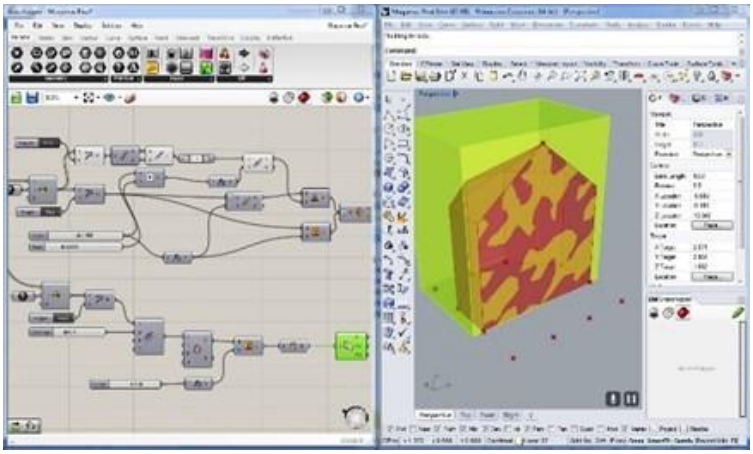
شکل ۱۲- لبه دو بعدی ایجاد شده از الگوی هندسی - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

سپس یک مدل متشکل از ۲ قسمت ایجاد می‌شود. قسمت اول اکستروژن مرز با ارتفاع=H و قسمت دوم یک کلاهک با اکستروژن تا نقطه میانی لبه کوچک‌ترین با ارتفاع=۱/۲ H است (شکل ۱۳).

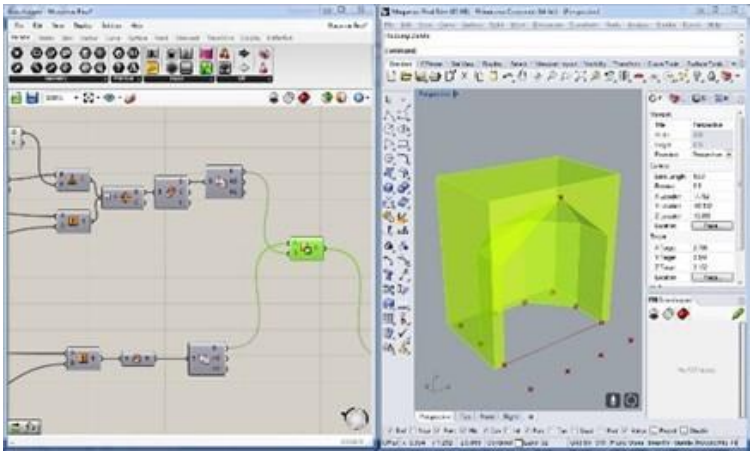


شکل ۱۳- مدل سه بعدی اکسترود شده از مرز دو بعدی - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

گام بعدی ایجاد واحد پایه مقرنس است که در یک مسیر Iinear آرایه می‌شود تا یک قرنیه برای نمونه تشکیل شود، یا حتی یک آرایه قطبی (polar) برای اینکه بخشی از یک گنبد باشد. یک مکعب با ابعاد آن متناسب با حالت I و ضخامت در نظر گرفته شده برای واحد پایه مقرنس ایجاد می‌شود (شکل ۱۴). با توجه به آن، این دو شکل از یکدیگر کم می‌شوند تا واحد پایه مقرنس ایجاد شود (شکل ۱۵)، زیرا این یک عنصر معماری منفی در نظر گرفته می‌شود.



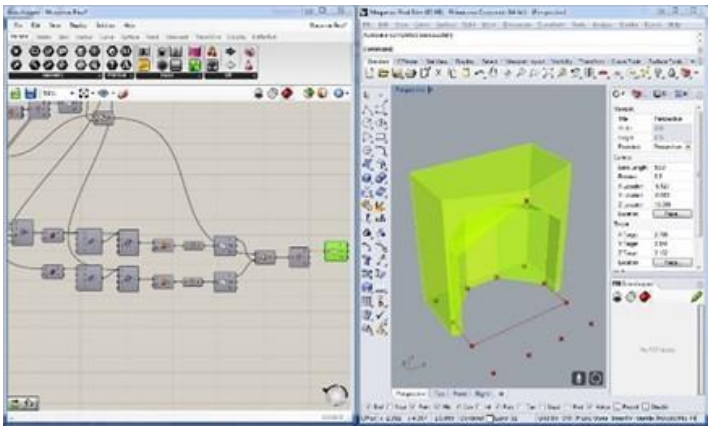
شکل ۱۴- مکعب برای تفریق مدل تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)



شکل ۱۵- واحد پایه مقرنس سه بعدی تولید شده پس از تفریق - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

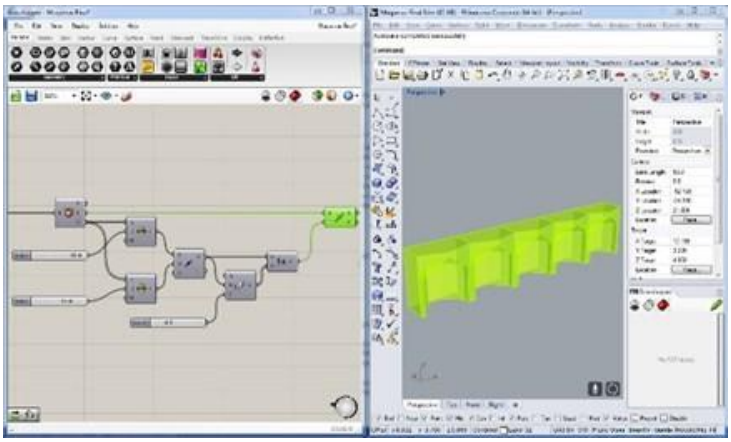
۵-۶- آراستن واحد پایه مقرنس

قبل از شروع فرآیند آرایه، یک برش محکم توسط یک انجین بر اساس سیستم پشتیبانی بر روی واحد پایه مقرنس انجام می‌شود (شکل ۱۶)، تا اطمینان حاصل شود که انتقال مقرنس ثابت است.

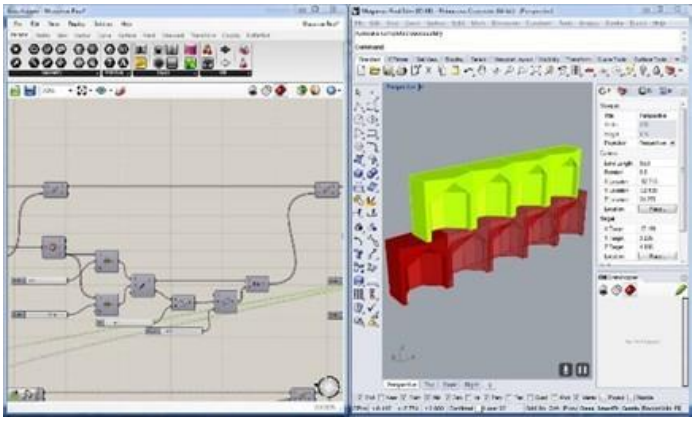


شکل ۱۶- تریم جامد به واحد پایه مقرنس - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

با استفاده از این تعریف نمودار گره (اشکال) گراس هاپر (شکل ۱۷)، واحد پایه مقرنس اولیه آرایه شده است. بر این اساس، این فرآیند تکرار می‌شود اما به صورت عمودی و با کاهش ¼ عرض واحد پایه برای ایجاد ردیف بالایی (شکل ۱۸).

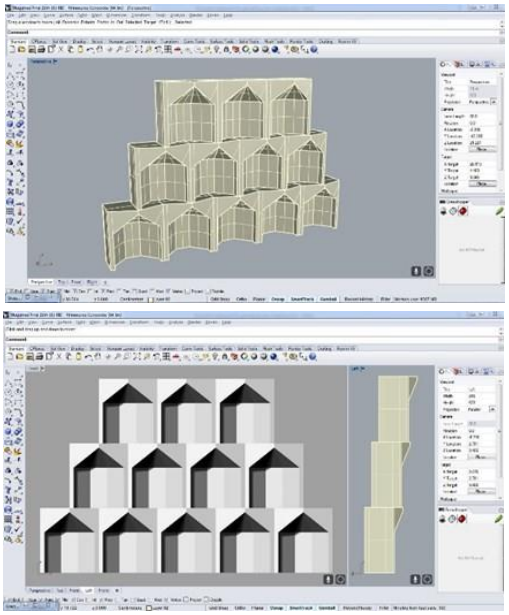


شکل ۱۷- چیدمان ردیف اول مقرنس - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)



شکل ۱۸- آرایه کردن ردیف بالا و جابجایی آن - توسط نویسنده از گراس هاپر ایجاد شده است (ماخذ: نگارندگان)

سپس این فرآیند برای تولید هر تعداد ردیف آرایه‌ای که ممکن است تکرار می‌شود (شکل ۱۹).



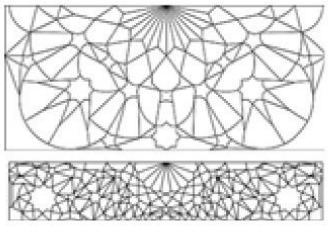
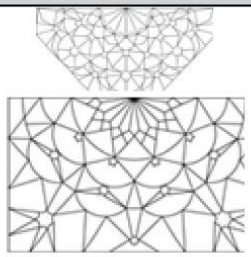
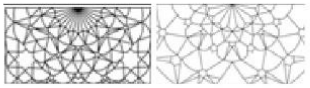
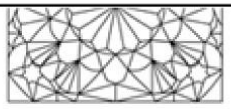
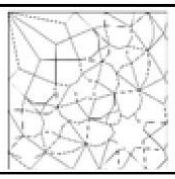
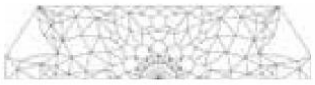
شکل ۱۹- نسل مقرنس - تولید شده توسط نویسنده از گراس هاپر (ماخذ: نگارندگان)

۷- تحلیل یافته ها

همان‌طور که در بالا نشان داده شد، فرآیند با ایجاد یک الگوی مربع جادویی و انتقال آن در گراس هاپر برای تبدیل مکانیسم به یک فرآیند مولد پارامتریک و الگوریتمی آغاز می‌شود. در نسل یک شکل جدید دوباره به وجود آمد. با استفاده از این فرم پارامترهای پارامتریک برای یک عنصر نیمه ساختاری پشتیبان متوالی که می‌توان آن را مقرنس پارامتریک نامید.

مقرنس با توجه به محل و طول دهانه مورد استفاده دارای طرح های مختلف می شود. برخی معماران مقرنس ها را در جبهه ساختمان ها نیز به کار برده اند و در ساختن آن مهارت را به حدی رسانده اند که نمی گذاردند موجب سنگینی ساختمان شود و بر اصل و پایه فشار آورد. بدین ترتیب با توجه به قرار گیری مقرنس در نقاط مختلف، طرح های متفاوت می توان اجرا کرد. کاربرد مقرنس در بناها به صورت نیم کار (در بالای ایوان و محراب) و زیر گنبد است (جدول ۵).

جدول ۵- تحلیل طرح های مختلف بناهای مقرنس (ماخذ: نگارندگان)

کاربرد	طرح	شکل	کاربرد	طرح	شکل
نیم‌کار	مقرنس ۴ قطاره (مسجد حجت الاسلام)		نیم‌کار	مقرنس ۴ قطاره (مقام صاحب‌الامر)	
	مقرنس ۳ قطاره (سرای کچه چیلر)			مقرنس ۴ قطاره (سرای کچه چیلر)	
زیرگنبد	مقرنس ۳ قطاره، زیر گنبد (مسجد حاج صفرعلی)			مقرنس ۴ قطاره (مسجد کوچک)	

۷-۱- دیجیتالی کردن فرآیند

این پژوهش به دلیل منحصربه‌فرد بودن و ماهیت پیچیده و جایگاه متمایز آن در تزیینات و زیورآلات معماری اسلامی، به مقرنس‌های خاص پرداخته است.

تجارب مربوط به این عنصر تاریخی از طریق آزمون و خطا و نوآوری در طول نسل‌ها منتقل شده و به دست آمده است، با این حال، یک فرآیند تعریف شده به طور مشخص وجود ندارد.

۷-۲- مقرنس پارامتریک

هدف اصلی این مقاله، بازسازی فرآیند تولید مقرنس، با استفاده از یک فرآیند مولد پارامتریک برای تجزیه و تحلیل واحدهای تشکیل دهنده با استفاده از فرضیه رابطه مجدد بین الگوهای هندسی حاصل از نظم کیهانی و واحدهای پایه مقرنس بود. و به همین دلیل از مربع‌های جادویی استفاده شد.

۷-۳- روش‌شناسی نسل

الگوی مربع جادویی زحل (خورشید) ۳×۳ مورد استفاده در برنامه، صرفاً یک مثال و پایه‌ای برای صدها الگوی هندسی دو بعدی است که می‌توان با استفاده از روش نسلی که در بالا ذکر شد ایجاد شود.

انتخاب الگوهای دوبعدی مورد استفاده بر اساس مقایسه با الگوهای هنری هندسی پایه معماری اسلامی بود، هرچند، خلق الگوهای جدیدی که همان ویژگی‌های الگوهای هنر اسلامی را دارند، نادیده گرفت.

علاوه بر این، الگوی دو بعدی بعد سوم داده می‌شود و به یک واحد سه بعدی که واحد پایه مقرنس را در بر می‌گیرد، تبدیل می‌شود.

۷-۴- یک نقطه شروع

در نهایت، فرآیند آرایه بندی فرم می‌تواند دو مسیر را طی کند، اولی، یک مسیر Iinear (اولیه) با ردیف‌های بالایی که می‌توانند به‌عنوان سوله‌ها و طاقچه‌های خطی استفاده شوند.

دومی یک آرایه شعاعی که داخل سقف‌ها یا گنبدهای ساخته شده را می‌سازد. این مقاله اولین مورد را به دلیل ساختار ساده آن مورد بررسی قرار داد و با هدف ایجاد ایده‌ای جدید برای آغاز نوآوری‌ها و روندها در تولید مقرنس، یک نتیجه تضمینی را تضمین کرد.

۸- زیرنویس

1. Islamic
2. Muqrans
3. Ceiling
4. Parametric
5. Decorations
6. Geometry
7. Human
8. Roof
9. Computational

10. Algorithmic

۹- نتیجه گیری

همان‌طور که در بالا مورد بحث قرار گرفت، هدف این تحقیق ایجاد یک فرآیند مولد پارامتریک برای یک مقرنس جدید بود. روش تصور شده در این مقاله می‌تواند برای ایجاد چندین طرح جدید از فرم‌های مقرنس بر اساس مفاهیم معماری اسلامی که به نظم کیهانی جهان و واکنش آن به ماهیت زیبای عینی هندسه مربوط می‌شود، استفاده شود.

امروزه تخصصی شدن علم در زمینه نرم‌افزار گراس هاپر در خلق یک اثر معماری ضروری گشته است. تخصصی شدن در این زمینه تحول عظیمی را در زمینه مهندسی معماری به وجود می‌آورد. با توجه به مطالب گفته شده می‌توان نرم‌افزار گراس هاپر را به عنوان یک نرم‌افزار پارامتریکی قدرتمند دانست و همچنین یکی از مهم‌ترین ابزارهای رشد و ترقی در کارهای اقتصادی و ابزاری برای ترسیم طرح‌های پارامتریکی می‌باشد.

استفاده از برنامه‌نویسی Rhinoscript و Biocks یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک پروژه ایجاد مقرنس جدید است، چرا که می‌توانیم طرح‌های مقرنس جدید با استفاده از طرح‌های الگوریتمی و پارامتریکی اعمال کنیم که در سطح پیشرفته‌تر می‌توانیم یک مقرنس جدید بین الگوهای هندسی حاصل از نظم کیهانی و واحدهای پایه مقرنس تولید کنیم. از این رو در این مقاله سعی شد تا برای اولین بار در جهان این تکنیک برتری بخشی به پروژه معماری را مطرح و نحوه ایجاد آن بر روی پروژه در نرم‌افزار گراس هاپر ارائه گردد.

مقرنس‌ها دارای شکل‌های مختلف هستند که آن‌ها را می‌توان در نرم‌افزار گراس هاپر خیلی راحت‌تر و سریع‌تر و طبیعی‌تر به صورت پارامتریکی تولید و ایجاد کرد. به همین صورت نیز در این مقاله، در گراس هاپر یک مقرنس جدید را خیلی راحت‌تر و سریع‌تر و طبیعی‌تر توانستیم به صورت پارامتریک تولید و ایجاد کنیم. بدین منظور مقایسه‌ها و نمونه مقرنس بیان شده این پژوهش نشان می‌دهد که نرم‌افزار گراس هاپر قدرت فوق‌العاده‌ای در زمینه ترسیم مقرنس با سبک پارامتریک دارد. این کار برای یک معمار دارای اهمیت خیلی زیادی بوده و از این نظر حائز اهمیت است که نرم‌افزار گراس هاپر را بدانیم. همچنین استفاده صحیح از نرم‌افزار گراس هاپر می‌تواند به صورت مؤثری جریان کار را سرعت ببخشد و ترسیمات را به سطح بعدی پیش ببرد در حقیقت تمام چیزهایی که در اطراف مشاهده می‌شود و همه کائنات برای نمایش زیبایی خلق شده نیازمند نرم‌افزار گراس هاپر است. در این جهان هستی بدون ایجاد مرحله گراس هاپر این مقدار از زیبایی و ترسیمات مقرنس‌های بی‌نظیر با سبک پارامتریکی را که مشاهده می‌شود، وجود نخواهد داشت. بایستی تمام مهارت‌ها را با دقت و حوصله طراحی کرد تا بتوان حس زیبایی را به بیننده انتقال داد و این کار باعث خواهد شد تا بهتر از دیگران در بازار هدف خود شناخته شوید.

تمام ترفندهایی که فرد می‌تواند در گراس هاپر استفاده کند، دوازده دسته تقسیم می‌شوند که شامل موارد زیر است:

- طراحی مقرنس‌های متفاوت و پیچیده به صورت پارامتریکی
- ایجاد و تولید مقرنس جدید بین الگوهای هندسی حاصل از نظم کیهانی و واحدهای پایه مقرنس
- مدلسازی نماها و پوسته های پارامتریک
- مدلسازی نماهای باز و بسته شونده هوشمند
- طراحی پترن های پارامتریک با استفاده از الگوهای دقیق ریاضی
- مدلسازی آبجکت ها و المان های سه بعدی پارامتریک
- طراحی سازه های فضا کار و خرپایی
- مدلسازی سازه های کششی و پوسته ای
- خلق منحنی ها و سطوح آزاد در طراحی معماری با محاسبات دقیق و اجراییِ ریاضی و هندسی
- برجسته‌سازی تصویر
- اضافه کردن متریال و سایه و جلوه‌های نور (درخشش خورشید و نور از آسمان)
- گرفتن رندر المنت فوق‌العاده

به طور خلاصه، (طراحی پارامتریک + الگوهای هندسی فرضی) در جهت آرایه بندی یکنواخت یا پویا، مقرنس‌های تعریف شده‌ای را ایجاد می‌کند. برای تکمیل این تحقیق، مطالعات آتی باید با بررسی ساختار شناسایی شده، روش ساخت، ایجاد دگرگونی‌های سقفی جدید فضاهای معماری، و انجام تحلیل ساختاری بر روی فرم تولید شده برای آزمایش تقلیدهای ساختاری آن انجام شود.

۱۰- قدردانی

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

۱۱- مراجع

1- Arjmandi, H. & Tahir, M. (2011). Psychological and spiritual effects of light and color from Iranian traditional housed on dwellers. Journal of social science and humanities, 6(2), 301-288.
2- Al-Ghazali, M. “Reflections on Islamic View of Art and Literature.” Islamic Studies 35, no. 4 (1996): 425-34. https://www.jstor.org/stable/20836965.
3- Brend, Barbara. Islamic Art. New York, Cambridge: Hardvard University Press, 1991.
4- Clevenot, Dominique., and Gerard Degeorge. Ornament and Decoration in Islamic Architecture. London:Thames and Hundson, 2000.

5- Cobley, Paul. “The Routledge Companion to Semiotics.” Choice Reviews Online Vol. 47, no. 06 (2010): 47-2994-47–2994. https://doi.org/10.5860/choice.47-2994.
6- Cooper, E. David. “A Companion to Aesthetics by Cooper, E. David. and Robert Hopkins (eds).” Choice Reviews Online Vol. 47, no. 04 (2009): 47-1920-47–1920. https://doi.org/10.5860/choice.47-1920.
7- Dai, X., Yuan, X., Wu, L. 2015. A novel harmony search algorithm with gaussian mutation for multi-objective optimization. Soft Computing, 1-19.
8- Dold-Samplonius, Yvonne(1992), Practical Arabic Mathematics: Measuring the Muqarnas by Al-Kashi, Centaurus, 35, pp. 242-193.
9- Echtner, Charlotte M. “The Semiotic Paradigm: Implications for Tourism Research.” Tourism Management 20, no. 1 (1999): 47-57. https://doi.org/10.1016/S0261-5177(98)00105-8.
10- Ettinghausen, R. “The ‘Wade Cup’ in the Cleveland Museum of Art, Its Origin and Decorations.” Ars Orientalis 2 (1957): 327-66. https://www.jstor.org/stable/4629041.
11- Farooqi, Waheed Ali. “Islamic Art and Spirituality.” Idealistic Studies 22, no. 3 (1992): 240-41. https://doi.org/10.5840/idstudies19922231.
12- Faruqi, Lois al. “The Aesthetics of Islamic Art.” The Journal of Aesthetics and Art Criticism 35, no. 3 (1977): 353. https://doi.org/10.2307/430294.
13- Gonzalez, V. “Beauty and Islam: Aesthetics in Islamic Art and Architecture.” Choice Reviews Online39, no. 09 (2002): 39-4975-39–4975. https://doi.org/10.5860/choice.39-4975.
14- Graham, Gordon. Philosophy of the Arts: An Introduction to Aesthetics. Philosophy, 3rd Edition. London: Routledge Press, 2005.
15- Geyer, P. 2008. Multidisciplinary grammars supporting design optimization of buildings. Research in Engineering Design, 18(4), 197-216.
16- Golombek, Lisa and Donald Wilber (1988), The Timurids architecture of Iran and Turan, Princeton University press, Princeton N.J.
17- Hillenbrand, Robert. Islamic Architecture: Form,Function and Meaning. New York : Columbia University Press, 1994.
18- Jabi, W.; Soe, S.; Theobald, P.; Aish, R.; Lannon, S. Enhancing parametric design through non-manifold topology. Des. Stud. 2017, 52, 96–114.
19- Kazempourfard, Hamidreza (2016), The Evolution of Muqarnas in Iran, Publisher: Supreme Century, Reseda, Ca, USA.
20- Katona, V. Geometry and architecture: Parametricism, morphology, design methodology. Symmetry Cult. Sci. 2020, 31, 229.
21- Nowotniak, R., Kucharski, J. 2012. GPU-based tuning of quantum- inspired genetic algorithm for a combinatorial optimization problem. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 60(2), 323- 330.
22- Ling, T., Taniar, D., Smith, K. 2002. Parametric Optimization in Data Mining Incorporated with GA-Based Search[M]// Computational Science- ICCS 2002. Springer Berlin Heidelberg, 582-591.
23- Leaman, O. Islamic Aesthetics: An Introduction. Notre Dam: University of Notre Dam Press, 2004. https://philpapers.org/rec/LEAIAA.
24- Rao, R.V., Savsani, V.J. 2012. Design Optimization of Selected Thermal Equipment Using Advanced Optimization Techniques[M]// Mechanical Design Optimization Using Advanced Optimization Techniques. Springer London, 195-229.
25- Shimoda, M., Liu, Y., Morimoto, T. 2014. Non-parametric free-form optimization method for frame structures. Structural & Multidisciplinary Optimization, 50(1), 129-146.
26- Stierlin, Henry. Islamic Art and Architecture: From Isfahan to Taj Mahal.Thames and Hudson, 2002.
27- Wang, Q., Frank, A.A 2014. Plug-in HEV with CVT: configuration, control, and its concurrent multi-objective optimization by evolutionary algorithm. International Journal of Automotive Technology, 15(1), 103- 115.
28- Yu, Y.Y., Lin, Y., Chen, M. 2015. A new method for ship inner shell optimization based on parametric technique. International Journal of Naval Architecture & Ocean Engineering, 7(1), 142-156