Archive of SID

گزارش علمی
هندسه و فضای معماری ارگانیک[1]

سعید مشایخ فریدنی[2]
استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، مطالعه و درک ساختارهای پیچیدهٔ صدف از طریق مدل‌سازی پارامتریک با استفاده از نرم‌افزار گرس‌هاپر است. زیرا توانایی ساخت و اجرای ساختارهای بسیار پیچیده در طبیعت، از طریق دستیابی به هندسهٔ پنهان در آن ساختارها میسر می‌گردد، به همین سبب فرایند تکاملی رشد ساختار پوستهٔ صدف‌ها از طریق تعریف یک منحنی اسپیرال ویژه، مدل‌سازی شد و بسط و چرخش این منحنی اسپیرال شکل نهایی صدف را ایجاد کرد. با تغییر مقادیر پارامترهای مؤثر در این فرایند، می‌توان به انواع ساختارهای متفاوت و پوستهٔ صدف‌های مختلف و هندسهٔ هریک از آن‌ها دست یافت. در پایان، برای بهره‌گیری از این فرم در ایجاد یک فضای معماری، از میان فرم‌های متنوع تولیدشده از این معادلهٔ پارامتریک، فرم صدف دوکفه‌ای انتخاب شد. برای سهولت اجرا و خلق فضای معماری لازم در غرفهٔ نمایشگاهی، فرم نهایی از طریق تغییر در پارامترهای مؤثر و معرفی چند پارامتر جدید بهینه‌سازی شد.

۱. مقدمه

ساختارهای پیچیده و گوناگون طبیعی همواره الهام‌بخش طراحان و معماران بوده است. شناخت، درک، و بهره‌گیری از فرم‌ها و ساختارهای طبیعی و مکانیزم پویای آنان به معماران کمک کرده تا طرح‌هایی جذاب، پرمعنا و انسانی را خلق کنند. پیشرفت‌های معاصر در علوم رایانه‌ای از یک سو منجر به درک و شناخت بهتر و عمیق‌تری از طبیعت گشته و از سوی دیگر بر ساختار بناها و شهرهای ما تأثیر گذاشته است. وسایل دیجیتالی امروزی، نه‌تنها مصالح و روش‌های ساخت را تغییر داده‌اند، بلکه ساخت فرم‌های پیچیده، جدید، و هوشمند را ممکن کرده‌اند.

به منظور نمایش چگونگی به خدمت گرفتن این تکنولوژی‌ها در طراحی معماری، در این مقاله به شرح الگوبرداری یک فرم هوشمند طبیعی (در این خصوص صدف) و تلاش برای مدل‌سازی رایانه‌ای آن از طریق یک الگوریتم و استفاده از روابط ریاضی مناسب و تنظیم متغیرها پرداخته می‌شود.

۱. از خانم‌ها آناهیتا اریس و آیدا منتصرکوهساری و آقایان امیر رضاییان، پوریا عامری و میلاد شوکت‌بخش، دانشجویانی که مرا در گردآوری اطلاعات و تهیهٔ این پژوهش یاری کرده‌اند تشکر می‌کنم.
2. mfaridani@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

پرسش‌های تحقیق

۱. آیا دست‌یابی به فرایند طراحی و ساخت فرم‌های پیچیده امکان‌پذیر است؟

۲. آیا می‌توان به هندسهٔ فرم‌های پیچیده دست یافت؟

ابزار کارآمدی که امروزه طراحان را در تجسم طراحی و ساخت فرم‌های پیچیده و بدیع با الگوهای طبیعی یاری می‌کند، نرم‌افزارهای رایانه‌ای هوشمند است. نرم‌افزار «گرس‌هاپر»[۳] یکی از این برنامه‌ها است که به دلیل قابلیت‌ها و کارایی‌هایش، آشنایی و آموزش استفاده از آن جزء ضروریات دانشکدهٔ معماری به حساب می‌آید. پروژهٔ پژوهشی حاضر به منظور آموزش برنامهٔ «گراس‌هاپر» در دورهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است.

۲. مدل‌سازی پارامتریک پوستهٔ نرم‌تنان به کمک روابط ریاضی

فرم مارپیچ پوستهٔ حلزون‌ها همیشه توجه زیست‌شناسان و ریاضی‌دانان را جلب کرده است. دارسی تامپسون[۴] نشان داده است که رشد پوستهٔ این جانوران تابع قوانین ریاضی است و الگوی لگاریتمی دارد.[۵] منحنی لگاریتمی حلزون منحنی مارپیچی است با این ویژگی که: زاویهٔ برخورد بردار شعاعی r در هر نقطه با منحنی، زاویهٔ ثابت α را می‌سازد (ت ۱). رابطهٔ منحنی مارپیچی در مختصات قطبی دوبعدی به صورت زیر است:

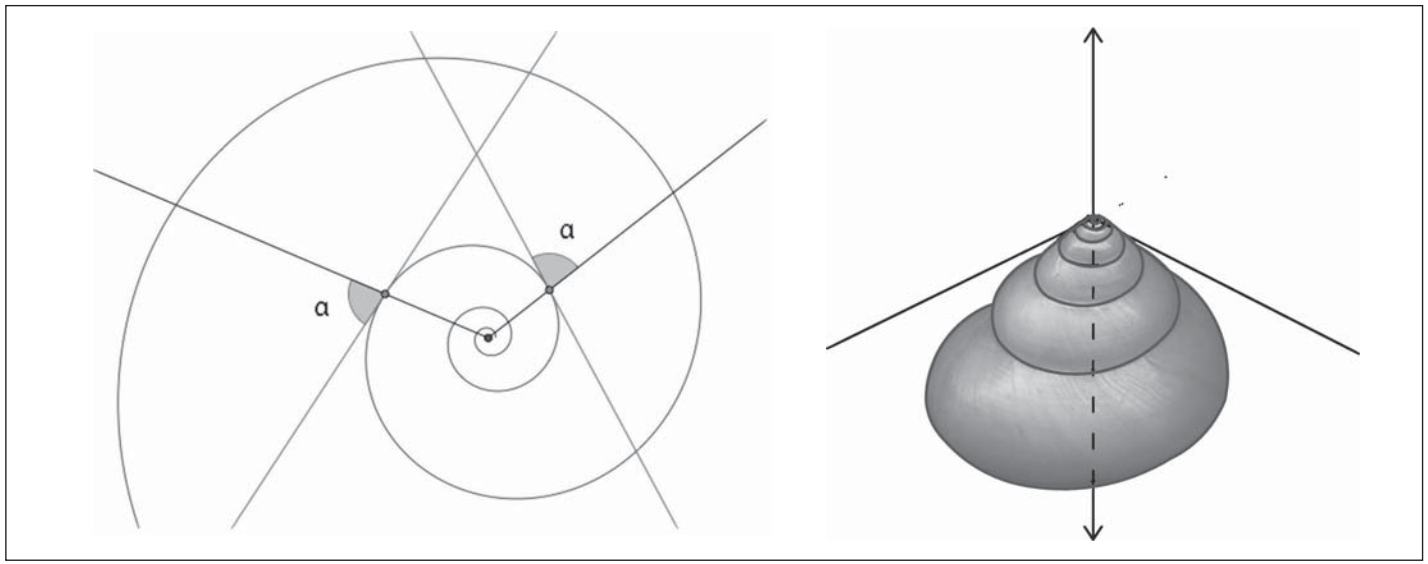
$$r = r0 . e^{(\theta . \mathrm{Cot}\alpha)} \quad (1)$$

۳. گرس‌هاپر (Grasshopper) پلاگینی(Plug-in) است برای برنامهٔ راینو (Rhino) که به کاربر امکان کدنویسی به صورت گرافیکی می‌دهد و به همین دلیل در طراحی فرم‌های پارامتریک پرکاربرد است (برای اطلاعات بیشتر نک: www.grasshopper3D.com)

4. Darcy Thomson

۵. نک: M. RAUP DAVID, *The Geometry of Coiling in Gastropods*.

ت ۱. نمونه‌ای از حلزون در مبداء مختصات (چپ). منحنی لگاریتمی منحنی است که زاویهٔ بردارهای شعاعی آن با منحنی، همیشه زاویهٔ ثابت α است که شکل کلی اسپیرال را کنترل می‌کند و محدودهٔ زاویهٔ α بین ۰ و ۹۰ است.



www.SID.ir

Archive of SID

۲. ۱. مدل‌سازی مایکل کورتی با ۱۶ متغیر

برخلاف رابطهٔ «۱» که معادلهٔ یک مارپیچ لگاریتمی در حالت دوبعدی است، منحنی پوستهٔ حلزون‌ها سه‌بعدی است. مایکل کورتی با عرضهٔ یک رابطهٔ ریاضی با ۱۶ متغیر متفاوت، ساخت مدل بسیاری از پوسته‌های نرم‌تنان را ممکن ساخت. اساس مدل‌سازی او بر پایهٔ تعریف دو منحنی «دهانه»[۶] و «منحنی مولد»[۷] است.

اگر در هر نقطه از مسیر اصلی پوستهٔ حلزون، صفحه‌ای عمود شود، آنگاه یک منحنی حاصل می‌گردد که به آن دهانه گفته می‌شود که در واقع مقطع مسیر مارپیچی حلزون در هر نقطه است. چنانچه مرکز هندسی هر دهانه را g بنامیم (ت ۲، چپ)، مجموعه نقاطی که از طریق دهانه‌های مختلف به دست می‌آید، منحنی دیگری را می‌سازد که به آن منحنی مولد می‌گویند. در حقیقت با استفاده از منحنی مولد و دهانه‌های متوالی مربوط به آن است که دهانهٔ پوسته به‌مرور تغییر بعد می‌یابد، می‌چرخد، و پوستهٔ حلزون تولید می‌شود.

۲. ۱. ۱. منحنی مولد

منحنی مولد یک منحنی ۳بعدی است که الگوی لگاریتمی دارد (ت ۲، وسط) معادله این منحنی مولد در مختصات استوانه‌ای چنین است:

$$r = A.\sin(\beta).e^{(\theta.\cot\alpha)} \quad (2)$$

$$z = -A.\cos(\beta).e^{(\theta.\cot\alpha)} \quad (3)$$

۲. ۱. ۲. دهانه

در ساده‌ترین حالت، دهانه‌ها را می‌توان دایره فرض کرد و به این ترتیب در مختصات قطبی، معادلهٔ دهانه را معدلهٔ دایره‌ای با شعاع ثابت R تعریف می‌شود؛ اما در واقعیت و در نمونه‌های واقعی، شکل دهانهٔ مقطع حلزون‌ها بیشتر به بیضی نزدیک است و مایکل کورتی برای مدل خود از مقاطع شبه بیضی استفاده کرده است. با جاگذاری شعاع متغیر Re به جای شعاع ثابت R در «مختصات قطبی» می‌توان به دهانهٔ بیضی دست یافت. در این فرمول منظور از زاویهٔ s زاویه چرخش و a و b قطرهای بیضی هستند.

$$Re = [(a^{-2}.\cos2(s) + b^{-2}.\sin^2(s)]^{-0.5} \quad (4)$$

حال اگر به تعداد شعاع متغیر Re پارامتر دیگر k اضافه شود، آنگاه برجستگی زنگی‌شکلی به دهانهٔ بیضی اضافه می‌شود.

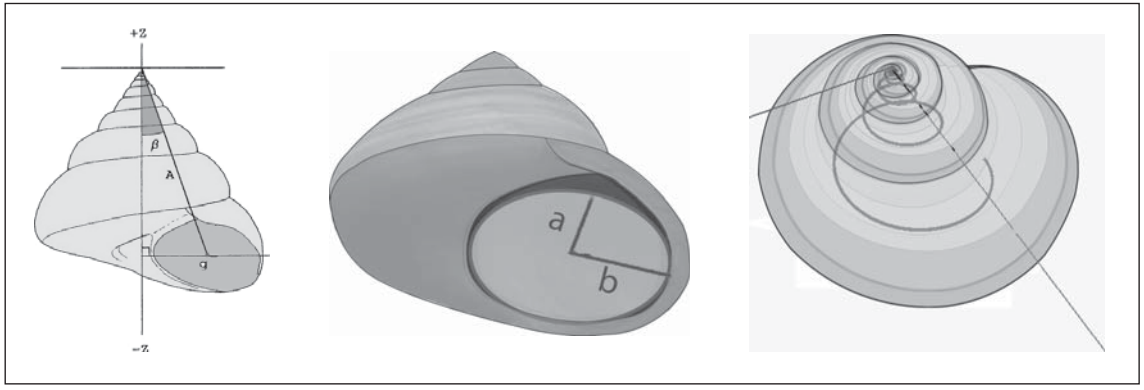
$$R = Re + K \quad (5)$$

$$K = L.e^{-[2(s-p)/w1]2}.e^{-[2g(\theta)/w2]2} \quad (6)$$

$$g(\theta) = (360/N)*(\theta*N/360) - \text{round}(\theta/N/360)) \quad (7)$$

تابع g(θ) در واقع تابعی از زاویهٔ θ است، که با افزایش مقدار زاویهٔ مذکور، تابع متناوباً تغییر می‌کند. نکتهٔ قابل‌توجه این است که،

6. Aperture
7. Generating curve



ت ۲. A فاصلهٔ مرکز دهانهٔ g از مبدا مختصات و β زاویهٔ بین محور z با خط واصل مرکز دهانه به مبدا مختصات (شکل چپ) است؛ در هرگونه از نرم‌تنان، A، β و α مقادیری ثابت هستند که بسته به نوع نرم‌تن تغییر می‌کنند. منحنی مولد در شکل وسط و منحنی دهانه که فرم طبیعی آن به شکل زنگ است در شکل سمت راست دیده می‌شود.

www.SID.ir

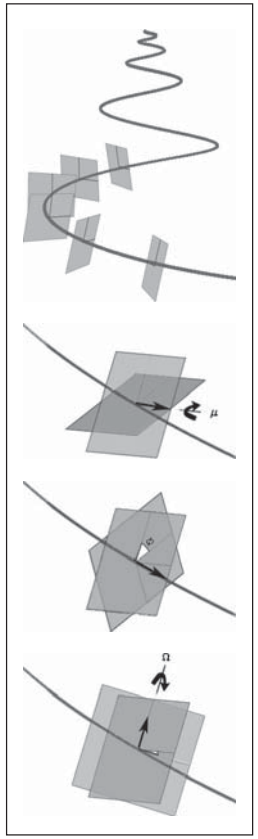
Archive of SID

صفحه‌هایی که دهانه در آن‌ها ترسیم می‌شوند، در حین حرکت کاملاً عمود بر مسیر منحنی مولد نیستند، بلکه نسبت به هریک از سه محور به میزان مشخص μوØوΩ انحراف دارند (ت ۳)، یعنی مقدار این زوایا بسته به نوع شکل پوسته متغیر است. به این ترتیب مدلی به دست می‌آید که به فرم حلزون بسیار شبیه است (ت ۴).

α	زاویه ثابت ومساوی مارپیچ حلزونی
β	زاویه محور Z با خطی که مرکز دهانه در سطح برش را به مرکز مختصات حلزون وصل می کند
Ω	زاویه ازیموت چرخش دهانه
μ	مقدار بیرون‌زدگی (افتادگی) دهانه
Ø	مقدارانحراف محور اصلی دهانه بیضوی نسبت به سطح افق
Smin	زاویه منحنی مولد دهانه در مبدا
Smax	زاویه منحنی مولد دهانه در انتها
P	موقعییت برآمدگی (زایده) رویه حلزون بر حسب زاویه S
W1	بعد عرضی برآمدگی در راستای s
W2	بعد عرضی برآمدگی در راستای©
	پارامتر های خطی
A	فاصله مرکز حلزون تا مرکز هر دهانه
a	شعاع اصلی دهانه بیضوی در©=۰
b	شعاع فرعی دهانه بیضوی در©=۰
R	طول بردار مولد دهانه های مختلف
L	فاصله برآمدگی رویه حلزون در۰©=
	سایر متغیر ها
X,y,z	دستگاه مختصات متعامد
r,©	مختصات قطبی
ro	شعاع حلزون در©=۰
N	تعداد برآمدگی ها در هردور چرخش رویه حلزون
D	جهت مارپیچ حلزون .. «۱» برای سمت بالا (دست راست) و «۱-» برای پایین (دست چپ)
K	دامنه و میزان دخل وتصرف و تاثیرات تزیینی سطوح
k	رشد نسبی حلزون

ت ۳. (راست) منحنی ترسیم‌شده همان منحنی مولد است و صفحه‌ها همان صفحه‌هاییی هستند که در ۳ بعد انحراف می‌یابند و بر فرم منحنی دهانه تاثیر می‌گذارند.

ت ۴. (چپ) معرفی متغیرهای به‌کاررفته در روابط ریاضی.



۲. ۱. ۳. قابلیت تغییر فرم مدل پارامتریک کورتی

مدل کورتی گسترهٔ وسیعی از نرم‌تنان از حلزون‌ها تا صدف‌ها را در بر گرفته و قابلیت مدل‌سازی آن‌ها را در اختیار قرار می‌دهد. در واقع او ادعا می‌کند که صدف‌ها حاصل تکامل حلزون‌ها هستند و با مدل‌سازی‌های خود به دنبال اثبات این ادعا است. همان‌طور که دیده شد، با انتخاب و تنظیم مناسب متغیرها می‌توان به تنوع فرم دست یافت و فرم‌های طبیعی بسیار پیچیده را مدل کرد و ساخت.

۲. ۲. مدل‌سازی در گرس‌هاپر و بهره‌گیری از روابط ریاضی

به منظور درک و تجسم بهتر روابط ریاضی مربوط به فرم‌های پیچیدهٔ طبیعی، کلیهٔ این روابط در گرس‌هاپر تعریف و ساخته می‌شود. مدل‌سازی‌ها با رسم منحنی مولد و یا تعریف و جای‌گذاری مقدار پارامترهای مربوطه در روابط «۳» و «۴» آغاز می‌گردد. سپس با استفاده از منحنی مولد به دست آمده و ترسیم صفحات دهانه‌ها که معادلاتشان معلوم است و در هر نقطه بر منحنی مولد عمودند و با چرخش منحنی مولد می‌چرخند، پوستهٔ فرم طبیعی، در این مورد، حلزون، به دست می‌آید. این کار با استفاده از مختصات نسبی و با توجه به بردارهای نرمال صفحه‌ها که در هر نقطه بر منحنی مماس است صورت می‌گیرد. با به دست آوردن این نقاط و اتصال آن‌ها به یکدیگر منحنی مارپیچی به دست می‌آید که به دور منحنی مولد گشته و رویهٔ پوسته را مشخص می‌کند.

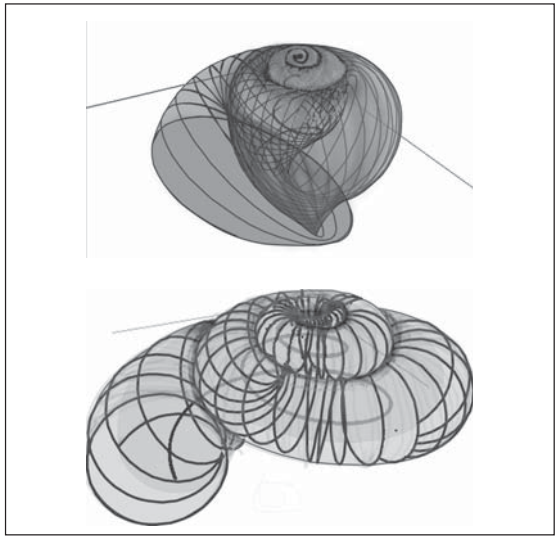
۲. ۲. ۱. پوستهٔ مارپیچی با مقطع دهانهٔ دایره

در ساده‌ترین حالت می‌توان شکل دهانه‌ها را به صورت دایره‌هایی فرض کرد که شعاع آن‌ها با فاصله گرفتن از نوک حلزون افزایش می‌یابد. به این معنی که در هریک از صفحات تعریف‌شده، معادلهٔ نقاط در مختصات قطبی، دایره‌ای با شعاع

www.SID.ir

Archive of SID

ثابت است. بازهٔ شعاع دوایر از صفر تا بیشترین مقدار در دورترین نقطه از رأس حلزون است. مارپیچ با مقطع دایره از اتصال نقاط متناظر کلیه دهانه‌ها به یکدیگر به دست می‌آید (ت ۵).



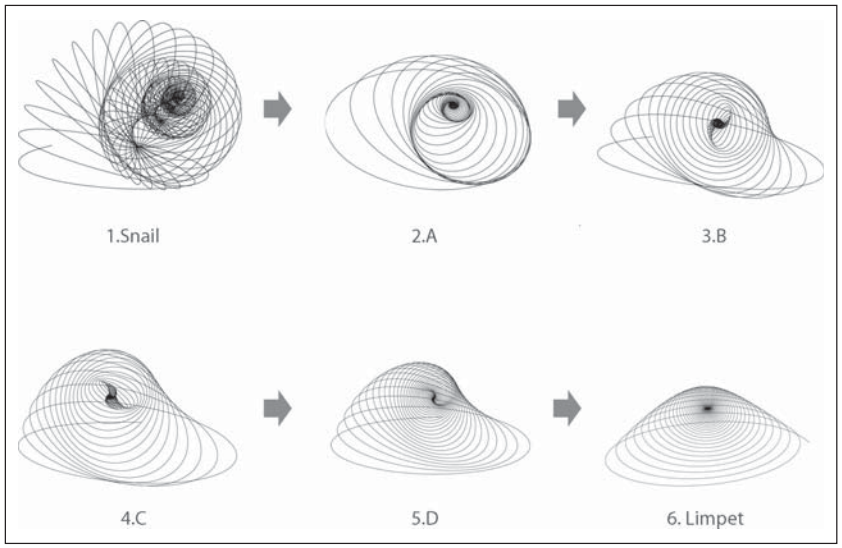
۲. ۲. ۲. پوستهٔ مارپیچی با مقطع دهانهٔ شبه بیضی

در خصوص مارپیچ‌های دایره‌ای، در صورت اضافه شدن طول مارپیچ امکان هم‌پوشانی و یا جدایی در رویهٔ پوسته هست. به همین خاطر و برای جلوگیری از این اتفاق باید در روابط «۶» و «۷» از شعاع متغیر استفاده شود. نکتهٔ دیگر اینکه در این حالت صفحاتی که این مارپیچ بر اساس آن‌ها تعریف می‌شود، دیگر کاملاً عمود بر مسیر منحنی مولد نیستند، و نسبت به سه محور مختصات با زوایای μ,φ,Ω قابل تعریف هستند.

۲. ۲. ۳. صدف

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، به عقیدهٔ مایکل کورتی، صدف‌ها گونه‌های تکامل‌یافتهٔ حلزون‌ها هستند. با توجه به این موضوع می‌توان در گرس‌هاپر در همان مرحلهٔ اول، یعنی تعریف پارامترها، با انتخاب پارامترهای مناسب مطابق جدول «ت ۴» فرم مارپیچ حلزون را به صدف[8] تبدیل کرد. مراحل تغییر فرم را در «ت ۶» می‌بینید (مقادیر پارامترهای هر پوسته به طور مجزا در جدول «ت ۷» آمده است).

8. Limpet



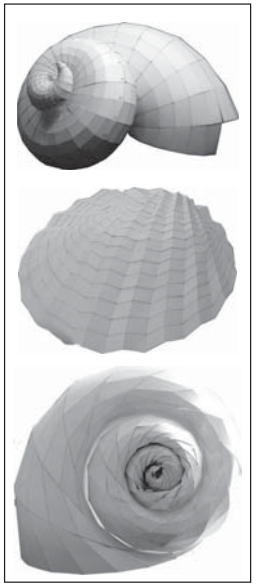
	حلزون	A	B	C	D	صدف
α	83	73	63	53	43	23
β	20	20	30	40	50	89
ϕ	-50	-40	-30	-20	-10	1
μ	40	40	30	20	10	1
Ω	-10	-10	-20	-25	-30	-40
S min	-160	-180	-180	-180	-180	-180
S max	175	180	180	180	180	180
A	9	9	9	9	9	9
a	8	8	8	8	8	8
b	7	7	7	7	7	7

ت ۵. (بالا، راست) حلزون با دهانهٔ بیضی (بالا)؛ حلزون با دهانهٔ دایره (پایین).
ت ۶. (بالا، چپ) نمایش مراحل تغییر فرم یک حلزون به صدف، مدل‌سازی آن از طریق نرم‌افزار گراس‌هاپر.
ت ۷. (پایین) مقادیر پارامترها در متغیرهای پوسته‌های مدل‌شده در گرس‌هاپر.

www.SID.ir

Archive of SID

ت ۸. (راست، بالا) مدل کاغذی با مقطع دایره‌ای (بالا)؛ مدل کاغذی صدف (میان)؛ مدل کاغذی حلزون با مقطع شبه بیضی (پایین)؛ نقشهٔ بازشدهٔ این نوارها از طریق نرم‌افزار 3dmax به دست می‌آید. نوارهای کاغذی پیوسته به کمک دستگاه لیزر برش و به کمک چسب به یکدیگر دوخته می‌شود.



۲. ۳. ساخت مدل‌های فیزیکی

برای ساخت مدل فیزیکی حلزون نیز می‌توان مانند همان روش مدل‌سازی در گراس‌هاپر عمل کرد. به این ترتیب که پس از به دست آوردن فرم گستردهٔ رویهٔ حلزون که در واقع یک نوار مارپیچی است و با سر هم کردن نوارها، فرم دلخواه را به دست آورد. نوار مذکور در حقیقت صفحات مابین دو دور متوالی فرم مارپیچی است. به‌علاوه برای ساده کردن مدل‌سازی‌ها، به جای منحنی‌های فرم اصلی از مجموعه خطوط شکسته استفاده شده است. «ت ۸» نمونهٔ ساخته‌شده به شیوهٔ فوق را نشان می‌دهد.

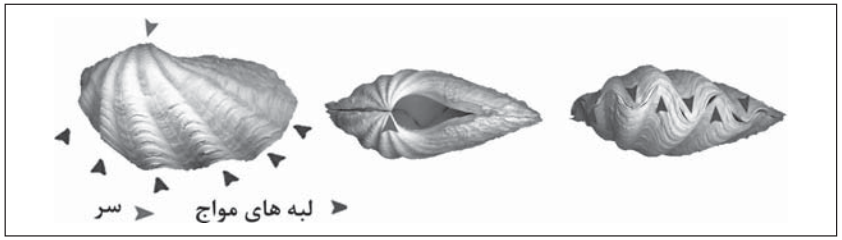
۳. طراحی غرفهٔ نمایشگاهی

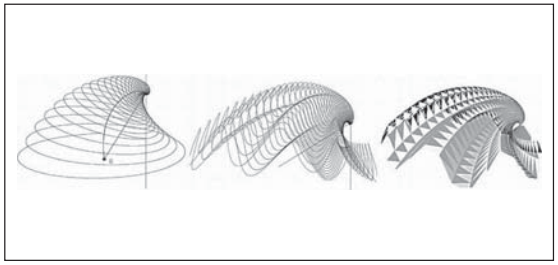
بعد از طراحی و ساخت مدل‌های متوالی از فرم‌های پیچیدهٔ نرم‌تنان، با استفاده از گرس‌هاپر، فرم مناسب و قابل ساخت غرفه‌های نمایشگاهی در مقیاس ۱/۱ به صورت یک کفه از صدف دوکفه‌ای انتخاب گردید. فرم انتخابی علاوه‌بر فضای یکپارچه، رفیع، و بسیار زیبای نمایشگاهی که در اختیار می‌گذارد، به دلیل مواج بودن پوستهٔ آن بسیار مقاوم است و لبه‌های مواج آن نیز مستقیماً می‌توانند بر روی زمین قرار گیرد. در ادامه، مطالعات و مدل‌سازی‌ها بر روی صدف دوکفه‌ای متمرکز می‌گردد (ت ۹).

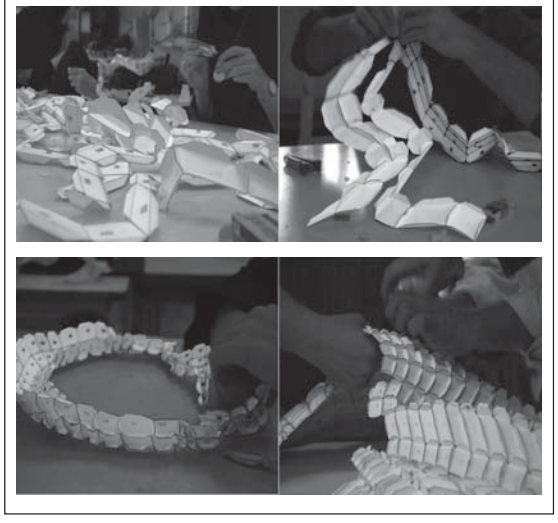
۳. ۱. مدل‌سازی و ساخت مدل پیشین با در نظر گرفتن دالبرهای اضافه‌شده به آن

اگر هریک از نقاط سازندهٔ پوستهٔ صدف را با برداری مشخص کنیم و بردارها را در ضرایب متغیری که تغییراتشان سینوسی است ضرب کنیم، آنگاه بر روی پوستهٔ صدف فرم مواج خواهیم یافت. البته لازم است دامنهٔ تغییرات تابع سینوسی به گونه‌ای تنظیم و محدود شود که با نزدیک شدن به سر صدف از مقدار دامنه کاسته شود (ارتفاع موج‌ها کم شود).

بردارهای مذکور در هر نقطه نه‌تنها اندازه‌های متفاوت دارند، بلکه به دلیل یکپارچگی رویهٔ صدف، راستاهای آن‌ها نیز متفاوت است و حاصل آن‌ها برآیند بردار عمود Z و بردار ناشی از اتصال نقاط پیوسته و متوالی دور مارپیچی رویهٔ پوسته هستند. به این ترتیب است که رویهٔ صدف ضمن مواج شدن، پیوستگی و یکپارچگی خود را حفظ می‌کند (ت ۱۰). برای درک بهتر به «ت ۱۱ و ۱۲» توجه کنید.

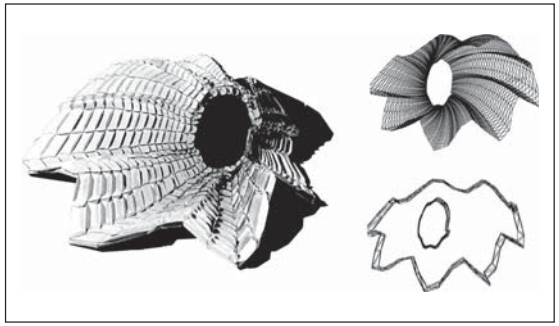






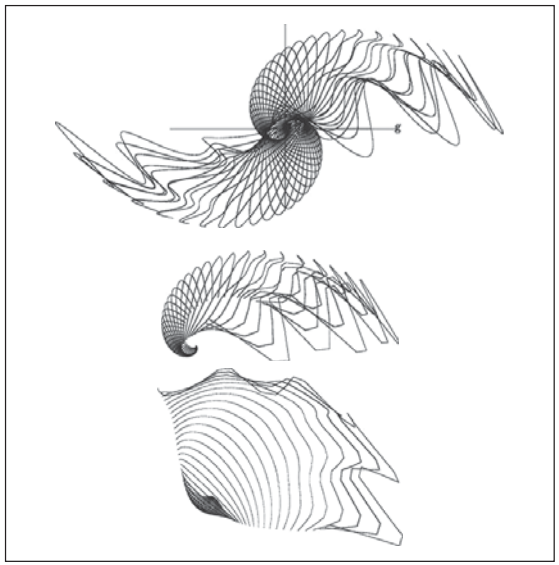
www.SID.ir

Archive of SID



۳. ۲. قرار گرفتن رأس مدل رایانه‌ای صدف بر سطح زمین

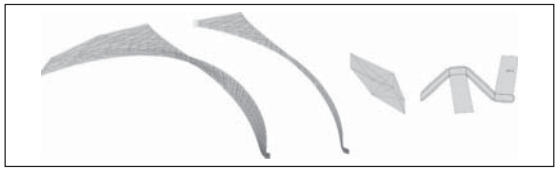
از ویژگی‌هایی که سبب انتخاب یک کفه از صدف دوکفه‌ای غرفهٔ نمایشگاهی گشت، امکان نشستن و قرارگیری هم‌زمان سر و لبه‌های مواج کفهٔ صدف بر روی یک سطح (در این مورد زمین) است. همان‌طور که در شکل سمت چپ «ت ۱۳» آمده است، تغییر زوایا در مدل رایانه‌ای، سبب تقسیم شدن مدل حلزون به دو بخش می‌شود که در سر به هم اتصال دارند؛ و

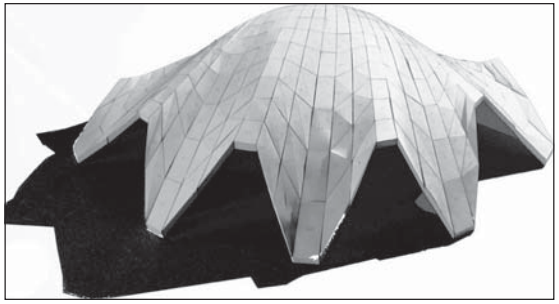


درنتیجه مدل دلخواه به دست می‌آید.

اگرچه فرم سمت چپ «ت ۱۳» مشابه طبیعی ندارد، ولی نیمهٔ آن، که در شکل سمت راست همان تصویر نشان داده شده، بسیار به نمونه‌های طبیعی و یک کفه از صدف دوکفه‌ای نزدیک‌تر و شبیه است. شکل مذکور نه‌تنها به دلیل مواج بودن مستحکم و مقاوم است، بلکه به صورت پایدار و مناسب بر روی زمین می‌نشیند. به‌علاوه با کنترل خیز عمومی صدف می‌توان به فضای مناسب فعالیت‌های نمایشگاهی به بازشوها و ورودی مناسب دست یافت. با توجه به محدودیت و خیز بسیار کم ناشی از استفادهٔ مستقیم از روابط مایکل کورتی و نیاز به ارتفاع بلند فضای نمایشگاهی، در پارامتر k مربوط به رابطهٔ دهانه تغییراتی اعمال شد که منجر به رفیع شدن پوسته و بازشوهای آن گردید.

تجربهٔ ساخت مدل فیزیکی صدف نشان داد که علاوه‌بر شکل قطعات، زوایای جانبی آن‌ها نیز برای کنار هم نشستن قطعات بسیار اهمیت دارد. به همین دلیل، اجزای سازندهٔ صدف، سه‌بعدی طراحی شدند (قطعات ضخامت یافتند)، که درنتیجه با کنار هم قرار گرفتن بلوک‌های به‌دست‌آمده، صدف با دقت بسیار بالا فرم گرفت و ساخته شد (ت ۱۴).





ت ۹. (صفحهٔ روبه‌رو، راست، پایین) نمایش اجزای اصلی یک صدف دوکفه‌ای.

ت ۱۰. (صفحهٔ روبه‌رو، چپ، بالا) روند تغییر فرم صدف بر اساس اضافه کردن موج‌های سینوسی به پوستهٔ آن.

ت ۱۱. (صفحهٔ روبه‌رو، چپ، پایین) با فرض پوسته‌ای بودن مدل ساخته شده، دو حلقهٔ ابتدایی و انتهایی آن جداگانه به صورت حجمی ساخته شد. درنتیجه با ثابت شدن دو سر پوسته، صدف طراحی‌شده فرم خود را یافت و خودایستا گشت.

ت ۱۲. (راست، بالا) برای درک بهتر مدل تغییریافته، نمونهٔ ۱/۱۰ آن ساخته شد. اساس ساخت این مدل نیز مانند نمونه‌های پیشین، برش صفحات به وسیلهٔ لیزر و به هم دوختن آن‌ها به صورت یک نوار پیوسته است.

ت ۱۳. (راست، پایین) برداری که مرکز هندسی آخرین دهانهٔ پوسته را به نوکش متصل می کند، با محور تقارن، زاویهٔ B می‌سازد. در دوکفه‌ای‌ها، این زاویه به ۹۰ درجه میل می‌کند. درنتیجه در این مدل، پارامترهای زوایای و به ۸۹ و ۸۵ درجه تغییر یافت تا سر صدف با نقاط تکیه‌گاهی دهانه در یک صفحه قرار گیرند. درنتیجه مدل از حالت حلزون به صدف دوکفه‌ای نزدیک شد.

ت ۱۴. (چپ، بالا) با به دست آوردن فرم گستردهٔ هریک از این بلوک‌های ۳بعدی و سر هم کردن آن‌ها به هم به فرم پوستهٔ صدف خواهیم رسید.

ت ۱۵. (چپ، پایین) مدل ۱/۱۰ صدف دوکفه‌ای طراحی.

www.SID.ir

Archive of SID

۴. ساخت غرفهٔ نمایشگاهی موقت در مقیاس ۱/۱

همان‌طور که اشاره شد، فرم یک‌کفه از صدف دوکفه‌ای غرفهٔ نمایشگاهی انتخاب شد. این فرم پس از مدل‌سازی‌ها و ساخت انواع حلزون‌ها و صدف‌ها در مقیاس‌های مختلف و ارزیابی مناسبت و انطباق‌پذیری آن با عملکرد معماری مورد نیاز به دست آمد. این غرفه علاوه‌بر ورودی‌های موجه و بازشوهای مناسب برای نمایش آثار و مدل‌های ساخته‌شده، با زیبایی و وقار و بدون تأثیر سوء بر حرکت و عملکرد هال ورودی دانشکده، در میانهٔ فضا جای گرفت. ابعاد و چگونگی قرارگیری بنای پیشنهادی از طریق جانمایی رایانه‌ای این فرم در تصویر سه‌بعدی هال دانشکده مشخص گردید.

۴. ۱. تبدیل الگوی طبیعی صدف به فرم قابل ساخت با ویژگی‌های مناسب غرفهٔ نمایشگاهی

در بخش‌های قبل به پیچیدگی روابط ریاضی فرم هندسی صدف دوکفه‌ای اشاره شد. به منظور اجرایی کردن و ساخت صدف در مقیاس واقعی تغییراتی در روابط ریاضی اعمال گردید:

۱. تعریف منحنی‌های خط‌الرأس و خط‌القعر صدف بر روی صفحات مسطح به‌طوری‌که همگی به صورت مشترک از رأس صدف عبور کنند.

۲. تعریف ضخامت برای پوستهٔ‌ی صدف که به شکل‌گیری قطعات جعبه‌ای با طول و عرض و ضخامت متفاوت منجر گردید. هرچه از لبه‌های صدف به رأس آن نزدیک می‌شویم، از طول و عرض و ضخامت جعبه‌ها کاسته می‌شود و در این صدف، قطعات به سطح مبدل می‌گردد.

۳. در اجرا، ساخت قطعات بسیار کوچک امکان‌پذیر نبود، درنتیجه چند قطعهٔ نهایی با هم ادغام شدند و به صورت یک مدول درآمدند (ت ۱۶).

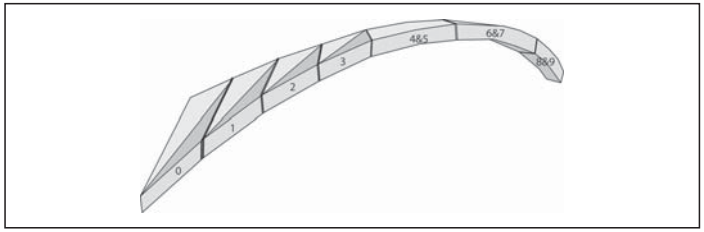
۴. ایجاد تغییرات در صدف به گونه‌ای که فرم شکلی ایستا یابد و با تعداد کافی نقطهٔ مکانی روی زمین قرار گیرد.

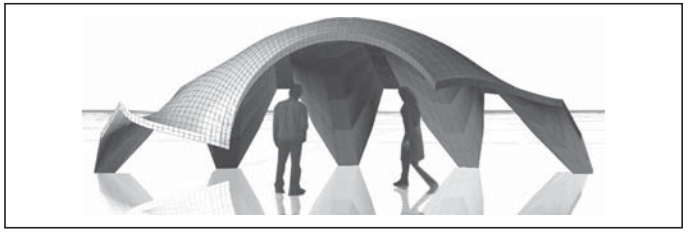
۵. حذف قسمتی از رأس صدف به منظور تأمین ورودی مجلل برای غرفهٔ نمایشگاهی مورد نظر (ت ۱۷).

همان‌طورکه اشاره شد، پس از اعمال تغییرات ذکرشده، از غرفهٔ نمایشگاهی، مدل مقوایی با مقیاس ۱/۱۰ ساخته شد. برای ساخت مدل مذکور ابتدا پلان گستردهٔ کلیهٔ اجزای صدف (مدول‌های جعبه‌ای) برش خورد، سپس قطعات برش‌خورده با چسب سر هم وصل شدند و با وصل کردن جعبه‌ها شاخه‌های چین‌دار صدف به دست آمد و در انتها با اتصال شاخه‌ها، کل صدف شکل گرفت. به این ترتیب درستی الگوهای نوشته‌شده و مدل رایانه‌ای تحقیق و بررسی شد.

۴. ۲. ساخت و برپایی غرفهٔ نمایشگاهی

بنای غرفهٔ نمایشگاهی پس از ساخت مدل ۱/۱۰ و کسب اطمینان از درستی الگوی پارامتریک و بررسی مصالح قابل‌استفاده آغاز گردید. در ابتدای کار استفاده از صفحات چوبی و کار با تیم‌های نجاری مطرح گردید که به علت تنوع و پیچیدگی قطعات و درنتیجه گرانی و طولانی شدن زمان ساخت کنار گذاشته شد. استفاده از ورق آهنی و ساخت جعبه‌های آهنی به روش کانال‌سازها هم تجربه شد و تعدادی





ت ۱۶. (راست) برای سهولت اجرا قطعات پایانی هر رشته (۴–۵ و ۶–۷ و ۸–۹) با هم یکی شده‌اند.
ت ۱۷. (چپ) درگاه ورودی که با حذف قطعه‌های پایانی حاصل می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

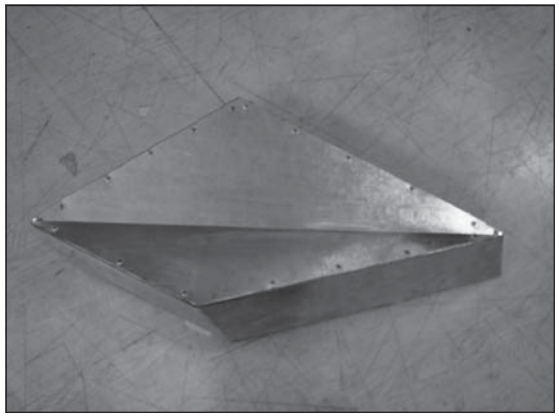
از مدول‌ها به شکل جعبه‌های آهنی ساخته شدند که به دلیل گرانی و پیچیدگی ساخت قطعات این طرح نیز کنار گذاشته شد (ت ۱۸).

از گزینه‌های دیگری که با ساخت مدل ۱/۱۰ نیز همراه شد، ساخت مدول‌ها به شکل چهارچوب یا اسکلت جعبه‌ای بود که صدفی به این ترتیب با جعبه‌های اسکلتی به دست آمد که ساختار بسیار شکیل و زیبایی را به نمایش می‌گذارد. متأسفانه، این طرح نیز پس از امکان‌سنجی‌های مالی و دشواری اجرا کنار گذاشته شد.

آخرین گزینه مصالح قابل‌استفاده برای ساخت قطعات ـ که پیش از این نیز در کارگاه آموزشی هنر مهندسی دانشکدهٔ معماری و شهرسازی تجربه شده بود ـ مقوای کارتن بود. اگرچه مقوای کارتن در مقایسه با مصالح ذکرشده موقتی بود و از نظر دوام و مقاومت قابل‌مقایسه نبود، اما به دلیل هزینهٔ نسبی بسیار پایین، مطلوب تشخیص داده شد. به این ترتیب همهٔ مراحل برش، سر هم کردن و برپایی غرفهٔ نمایشگاهی با همکاری دانشجویان دانشکده امکان‌پذیر گشت.

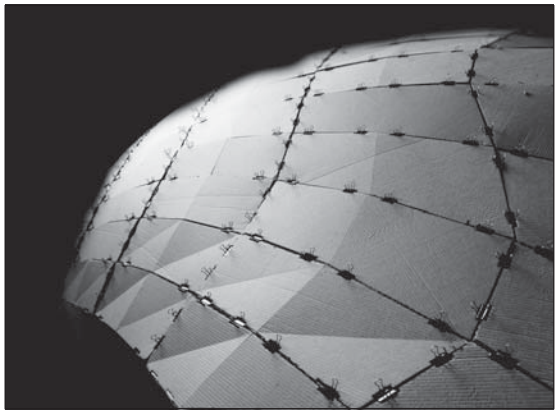
۴. ۲. ۱. مراحل ساخت غرفهٔ نمایشگاهی با استفاده از مقوای کارتن

چگونگی اتصال جعبه‌های مقوایی به یکدیگر، به‌طوری‌که همهٔ اجزا سر هم و سپس به سهولت از یکدیگر جدا شوند، مسئله و مشکل جدی استفاده از مقوای کارتن در ساخت صدف بود.



استفاده از انواع چسب‌ها برای اتصال جعبه‌های مقوایی، استحکام لازم را ایجاد نمی‌کرد، چرا که رویهٔ مقوای کارتن به‌سادگی ورآمده و سبب پارگی و جدایی موضعی قطعات می‌گردید. به‌علاوه، مجموعهٔ ساخته‌شده با این روش، پس از احداث، قابل جابه‌جایی و احداث مجدد نبود. برای اتصال جعبه‌های مقوایی به یکدیگر و ساخت صدف، شیوه‌های اتصالی متعددی طراحی و تجربه گردید که مهم‌ترین آن‌ها به شرح ذیل هستند:

- تبدیل صدف به شاخه‌های طولی متشکل از دو یا سه جعبهٔ به هم چسبیده و در نهایت اتصال مجموعه‌های به‌دست‌آمده از طریق ستونک‌های چوبی فرورفته در جعبه‌های انتهایی هریک از آن‌ها و اتصال و محکم کردن ستونک‌ها به یکدیگر از طریق مهارکش‌های ضرب‌دری.
- کارگذاری صفحات سه میلی‌متری از جنس «ام دی اف» در فصل مشترک و محل اتصال جعبه‌ها و پیچ‌ومهره کردن قطعات به یکدیگر.
- در نهایت، در حاشیهٔ بیرونی و نزدیک به لبه‌های جعبه‌ها شیارهای باریکی به اندازهٔ عرض گیره‌های معمولی کاغذ ایجاد شد و جعبه‌های مقوایی با گیره‌های مذکور به یکدیگر محکم شد. این اتصال‌ها از بالا و پایین قطعات و در چهار طرف آن بود و به این ترتیب شاخه‌های



ت ۱۸. (راست) جعبهٔ آهنی به روش کانال‌سازها.
ت ۱۹. (چپ) استفاده از گیره‌های کاغذی برای اتصال قطعات مقوایی.

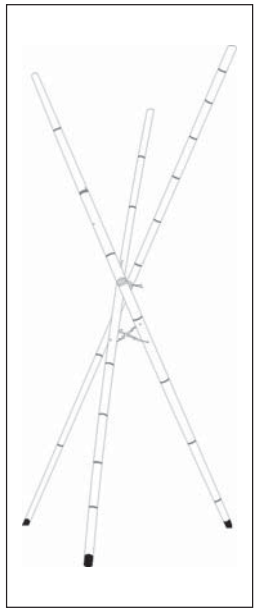
www.SID.ir

Archive of SID

مقوایی صدف ساخته‌شدند و به یکدیگر محکم گردیدند. همچنین اســتفاده از گیره‌ها سبب گردید که پوستهٔ موّاج مقوایی صدف بافت بسیار زیبایی بیابد (ت ۱۹).

۴. ۲. ۲. برپایی و اجرای غرفهٔ نمایشگاهی

همان‌طورکه قبلاً اشاره شد، به منظور ایجاد فضای رفیع و همچنین ورودی مناسب، رأس صدف، که در واقع یکی از تکیه‌گاه‌های آن با زمین بود، حذف شد و تمام صدف، به طور کلی کمی بالاتر از سطح زمین نگه داشته شد. برای پایدار کردن و بالا نگه داشتن صدف، از پایه‌های کش بستی داخلی که هریک از سه خیزران با طول‌های مختلف تشکیل و به یکدیگر با کنف محکم شده بودند، استفاده شد. به این ترتیب صدف علاوه‌بر پنج نقطهٔ پیرامونی، با سه پایهٔ سبک کش بستی داخلی از نوعی که ذکر شد، به شکل محکم و پایدار روی زمین مستقر گردید. با توجه به سطح مواج پوسته، ارتفاع تک‌تک شاخه‌های پایه‌های کش بستی در محل اتصال با پوسته می‌بایست قابل‌تنظیم می‌بود، که با بهره‌گیری از نظام کش بستی انتخاب‌شده این امر به سادگی ممکن گردید.



ت ۲۰. (راست و چپ) استفاده از پایه‌های بامبو برای ایستایی مدل.

جمع‌بندی

فرم‌های طبیعی از ترکیب اجزای متنوع و متفاوت شکل می‌گیرند و از نظر هندسهٔ ساختاری بسیار پیچیده‌اند. طبیعتاً الگوبرداری از آن‌ها در خلق فضاهای معماری چالشی مضاعف، قابل‌توجه، و فوق‌العاده به همراه دارد. آیا می‌شود فرایند طراحی تا ساخت فرم‌هایی را که از نظر ساختاری پیچیده‌اند و تاکنون اندیشه و توان ساخت آن‌ها را نداشته‌ایم تجربه کنیم و بسازیم؟ در واقع هدف از طرح، الگوبرداری، و ساخت غرفه‌ای به شکل یک کفه از صدف دوکفه‌ای در هستهٔ پژوهشی سیستم‌های هوشمند در مهندسی معماری دانشگاه شهید بهشتی پاسخ به این پرسش ارزشمند بوده است.

مسیر طی‌شده به این ترتیب بوده است که، ابتدا با استفاده از مدل‌سازی به کمک الگوریتم‌های هوشمند برنامهٔ گراس‌هاپر، فرم و کلیهٔ اجزای سازندهٔ پوسته یک کفه از صدف دوکفه‌ای به دست آمد. سپس برای اولین بار در تاریخ معماری کشور و بدون هیچ پیشینه‌ای در تولید و ساخت و برپایی چنین فرم‌هایی، غرفهٔ نمایشگاهی در مقیاس یک یکم به ابعاد ۸×۶×۲/۸ به دست دانشجویان دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی تولید و برپا گردید.

منابع و مآخذ

مشایخ فریدنی، سعید. *هندسه، فرم، معماری*، تهران: آرمان‌شهر، ۱۳۹۲.

Pottman, H. Asperl, A. Hofer, M. Kilan, A. Bently, D. *Architectural Geometry*, Bently institute press 2007

David, M. Raup. *The Geometry of Coiling in Gastropods*, Johns Hopkins 1961

Cortie Michael , *The Form , Function and Synthesis of Mollusk Shell* , Word scientific, 1992

http://www.grasshopper3D.com

http://www.idscaro.net/sci/01_coll/plates/bival/pl_tridacnidae_1.htm

http://xahlee/special Plane Curves_dir/Equiangular spiral_dir/Equiangular Spiral.html

www.SID.ir