صفحات ۵۱ - ۶۴ (علمی-پژوهشی)
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۶ ● شماره ۲ ● تابستان ۱۴۰۰

بازخوانی فرمی پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت و معماری*

احسان غلامزاده[۱]، محمدرضا متینی[۲]، سید یحیی اسلامی *[۳]، غلامرضا طلیسچی[۴]**

[۱]دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران.
[۲]استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران.
[۳]استادیار گروه معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۴]استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵)

چکیده

انسان همواره از فرم‌های طبیعی برای طراحی فضاهای خود الهام گرفته است و امروزه با بهره‌مندی از فناوری‌های نوین توانسته است به فرم‌های پیچیده‌تر طبیعت دست پیدا کند. پژوهش حاضر بر روی پوسته‌های سین کلاستیک (پوسته‌های همگون انحنایی) در طبیعت متمرکز شده است و به بررسی برتری پتانسیل‌های الگوهای فرمی و ساختاری این پوسته‌ها در معماری در مقایسه با سایر پوسته‌ها پرداخته است. روش تحقیق این پژوهش توصیفی-تحلیلی و تطبیقی است و از منابع اولیه این حوزه و نمونه‌های موردی استفاده نموده تا از طریق بررسی فرم و ساختار پوسته‌های سین کلاستیک طبیعی، به چگونگی استفاده حداکثری از ظرفیت‌های شاخص آنها در معماری معاصر بپردازد. در این راستا، مقاله ابتدا به گونه شناسی پوسته‌های سین کلاستیک و بررسی اصول فرمی آنها در طبیعت پرداخته، سپس گونه‌شناسی این پوسته‌ها در قالب پوشش‌های فضایی تاقی و گُنبدی در معماری گذشته و معاصر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج باز خوانی فرمی پوسته‌های سین کلاستیک حاکی از آن است که این پوسته‌ها به دلیل داشتن تعادل فرمی و پایداری حداکثری و نیز دارابودن سطح حداقلی و پوشش حداکثری، الگوهای کاربردی تر و بهینه ای برای معماران نسبت به سایر پوسته‌ها، می‌باشند.

واژگان کلیدی
پوسته‌های سین کلاستیک، طبیعت، معماری، فرم، ساختار، فناوری.

*مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول، با عنوان «نقش فناوری در بهینه سازی فرم و سازه در معماری زیست‌الگو (بررسی پوسته‌های سین کلاستیک)» می‌باشد که با راهنمایی نگارندگان دوم و سوم و مشاوره نگارنده چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد ارائه شده است.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۸۱۷۹۳۶۱، نمابر: ۶۶۹۷۲۰۸۳-۰۲۱، E-mail: y.islami@ut.ac.ir.

مقدمه

شاید بتوان طبیعت را بهترین الگوی انسان در تمام تاریخ معماری دانست. در عین اینکه بشر هرگز نتوانسته است گوشه‌ای از طبیعت را همان‌طور که هست به تصویر بکشد، الگوهایی از آن برگرفته که هیچ تخیل نیرومند بشری قادر به خلق چنین الگوهایی نبوده است. ارتباط بین معماری و طبیعت، سؤالات، امکانات و راه‌حل‌های زیادی را پیش روی انسان قرار داده است. در معماری معاصر معمارانی چون: «آنتونی گائودی»[۱]، «لوئیس سالیوان»[۲]، «فرانک لوید رایت»[۳]، «آلوار آلتو»[۴]، «یورن اُتزن»[۵]، «تادو آندو»[۶]،«فرای اُتو»[۷]، «سانتیاگو کالاتراوا»[۸] همواره از طبیعت الهام گرفته‌اند. در ارتباط با طبیعت در کنار جنبه‌های مختلف فرمی، جنبه‌های مختلف ساختاری را نیز می‌توان در نظر گرفت. یکی از معمارانی که در دوران معاصر به جنبه‌های مختلف فرمی و سازه‌ای در الگوبرداری از طبیعت پرداخته است، «آنتونی گائودی» معمار اسپانیایی موسوم به «معمار اشکال و خطوط طبیعی» هست، او با خلق فرم‌های غیر هندسی در به‌کارگیری طاق‌ها، عمق بینش ساختاری خود را به‌خوبی نمایش می‌دهد. (Huerta, 2006, 324) «فرای اُتو» مقوله کارآمدی فرم‌های معماری و سازه را مطرح می‌کند و مجدد راه «آنتونی گائودی» را ادامه می‌دهد. این پژوهش در امتداد کار معمارانی است که به مسأله الگوبرداری فرم و سازه از طبیعت پرداخته‌اند و به‌صورت بسیار مشخص بر روی «پوسته‌های سین کلاستیک»[۹] متمرکز شده است. در این پژوهش با استفاده از بازخوانی فرمی و ساختاری پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت و معماری، درصدد ایجاد بحثی جدید در مورد ارتباط بین معماری با دنیای طبیعی است که می‌توان رویکردهای خلاقانه فناوری را در جهت دستیابی به فرم‌ها و ساختارهای پیچیده‌تر و بهینه‌تر مشاهده کرد.

ضرورت انجام این پژوهش این است که امروزه گرایش به فرم‌های آزاد در معماری معاصر بسیار مورد توجه قرارگرفته است و همین امر باعث شده که به ساختارهای سین کلاستیک توجه کم‌تری شود، از طرفی با توجه به پتانسیل‌های بالای این پوسته‌ها و نیز توجه به تاریخ معماری و پیشینه معماری ایران و سایر کشورهای پیشرو در زمینه سازه‌های طاقی و گُنبدی، ضرورت بهره‌مندی هر چه بیشتر از این پوسته‌ها بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

اهداف این پژوهش، شامل موارد زیر است:

۱- گونه‌شناسی پوسته‌های سین کلاستیک و نیز فرم‌یابی آنها در سازه‌های مختلف؛

۲-معرفی برتری‌های پوسته‌های سین کلاستیک نسبت به سایر پوسته‌ها.

در این راستا، مقاله ابتدا به تعریف پوسته‌های سین کلاستیک و گونه‌شناسی آنها پرداخته است، سپس اصول فرمی این پوسته‌ها در طبیعت بررسی شده است. در ادامه، گونه‌شناسی این پوسته‌ها در قالب پوشش‌های فضایی تاقی و گُنبدی معماری گذشته و معاصر مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به بحث و بررسی در خصوص بهره‌گیری از پتانسیل‌های بهینه الگوهای فرمی و ساختاری پوسته‌های سین کلاستیک در معماری پرداخته است.

روش پژوهش

روش پژوهش به‌صورت توصیفی-تحلیلی و تطبیقی است و از منابع اولیه این حوزه و نمونه‌های موردی استفاده نموده تا از طریق بررسی پتانسیل‌های بالای فرمی و ساختاری پوسته‌های سین کلاستیک طبیعی، به چگونگی استفاده از ظرفیت‌های شاخص آنها در معماری بپردازد.

پیشینه پژوهش

پژوهش حاضر در امتداد کار معمارانی است که به مسأله الگوبرداری از پوسته‌ها در طبیعت پرداخته‌اند. در پیشینه این پژوهش، می‌توان به جنبه‌های الهام از طبیعت در معماری و نیز اهمیت پوسته‌ها در طبیعت و معماری اشاره نمود. تقی‌زاده (۱۳۸۵) به آموزه‌هایی از سازه‌های طبیعی به‌عنوان درس‌هایی برای معماران اشاره می‌کند و پتانسیل‌های پوسته تخم پرندگان و پوسته صدف دریایی را مورد بررسی قرار می‌دهد. فیض‌آبادی و همکاران (۲۰۱۳) به روش‌های بهره‌گیری از ساختارهای موجودات طبیعی در معماری تکنولوژیکی پرداخته‌اند و الهام از ساختارهای طبیعی پوسته‌ای در آثار معماری مورد بررسی و نقد قرارگرفته است. مدی و ایمانی (۱۳۹۷) به فناوری بایومیمتیک و الهام از طبیعت پرداخته‌اند؛ عملکردگرایی از مشخصات بارز بایومیمتیک در این پژوهش معرفی شده است و الهام فرمی و عملکردی از پوسته‌های طبیعی در آثار کالاتراوا مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهشی دیگر، تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) به ساختار پوسته‌های ساختمانی در مواجهه با مکانیزم حرکتی اشاره داشته‌اند. شاهرودی و همکاران (۱۳۸۶) نیز به لزوم بهره‌گیری از طبیعت برای آموزش در رشته معماری به‌منظور ارتباط قوی‌تر سازه و معماری تأکید داشته‌اند. بنابراین همان‌طور که اشاره گردید، مطالعه بر روی پوسته‌های طبیعی، جزو یکی از حوزه‌های مختلفی است که از دیرباز مورد توجه معماران قرار گفته است.

مبانی نظری پژوهش

۱. معرفی پوسته‌های سین کلاستیک

برای درک بهتر پوسته‌های سین کلاستیک لازم است ابتدا به فراگیری و درک فرم‌های سازه‌ای پوسته‌های نازک پرداخته شود. واژه «پوسته» در فرهنگ فارسی معین به معنای: «قشر» و «غشاء نازک» در طبیعت است. ریشه این واژه ترکیب «پوست» و پسوند «ه» می‌باشد. واژه «پوست» نیز به معنای «قسمتی از ساختمان سطحی بدن جانوران که اعضای مختلف را از خارج پوشانده است.»، «بیرونی‌ترین بخش بدن جانوران»، «پوشش بیرونی ساقه» و «پوشش تخم جانور و دانه گیاه» است (معین، ۱۳۸۵، ۲۹۴-۲۹۶). پوسته تداعی‌کننده سطوح محافظ موجود در طبیعت نظیر تخم پرندگان، صدف‌های دریایی، پوسته نرم‌تنان، لاک‌پشت‌ها، جمجمه انسان، دانه گیاهان و لانه‌هایی که پرندگان خاص به‌طور کاملاً غریزی می‌سازند است (Melaragno,1991, 120) (تصویر ۱).

پوسته، سازه‌ای نازک با سطوحی اغلب منحنی می‌باشد که بارها

را فقط به‌وسیله کشش، فشار و برش به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌نمایند. پوسته‌ها درسازه‌ها و پوشش‌های بیرونی ساختمان‌ها، در جایی که بار وارده گسترده یکنواخت است، بسیار کارآمد هستند. به علت اینکه پوسته‌ها اغلب بسیار نازک می‌باشند، مقاومت خمشی ناچیزی دارند و برای تحمل بارهای متمرکز مناسب نمی‌باشند (Moore, 1998, 197).

پوسته می‌تواند نیروهای نسبتاً بزرگ را تحمل کند، به شرط آن‌که نیروها به‌طور یکنواخت بر آن وارد شوند. تخم‌مرغ بهترین مثال پوسته در طبیعت است که اگرچه نازک است اما می‌تواند به خاطر شکلش، در برابر مقدار زیادی بار گسترده یکنواخت مقاومت کند. مقاومت پوسته‌ها ناشی از فرم آن‌هاست و نه جرمشان. پوسته‌ها در به‌کارگیری مصالح بسیار بهینه هستند، زیرا آن‌ها در برابر بارها، بیشتر از این‌که با رفتار خمشی مقاومت کنند به‌وسیله شکلشان مقاومت می‌کنند. تنوع اشکالی که می‌توان در ساخت پوسته نازک به کار گرفت زیاد است. درواقع، از لحاظ تئوری، پوسته هر شکلی را می‌تواند به خود بگیرد؛ چه از لحاظ ریاضی قابل‌تعریف باشد و چه نباشد. گُنبد، پوسته استوانه‌ای، تاق، مخروطی و سهموی هذلولی معروف‌ترین اشکال پوسته هستند (گلابچی و امیری، ۱۳۹۵، ۴۴۱).

۱-۱. تعریف پوسته‌های سین کلاستیک

طبق طبقه‌بندی رابرت براون باتلر[۱۰]، پوسته‌ها به‌طور کلی به ۲ دسته پوسته‌های ورق تا شده و پوسته‌های دارای انحناء طبقه‌بندی می‌شوند. (Butler, 1998) در بررسی مقاومت و سختی پوسته‌های دارای انحناء همانند ورق‌های تاشو، شکل هندسی نقش بسزایی خواهد داشت. در این نوع پوسته‌ها نیز با ایجاد انحناء در سازه، مصالح مصرفی از تار خنثی دور شده و با افزایش حالت تعادل دورانی، مقاومت و سختی سازه افزایش پیدا می‌کند. در طبیعت برگ‌های درختان و گیاهان دارای چنین خصوصیتی هستند. این برگ‌ها دارای یک انحناء به سمت پایین هستند تا بتوانند وزن خود را تحمل کنند. در سطح پوسته به علت وجود انحناء، نیروهای داخلی برخلاف صفحات صاف، از طریق کشش، فشار و برش انتقال می‌یابند. پوسته‌های نازک امکان ساخت گُنبدها و سقفهای منحنی با اشکال متفاوت را فراهم می‌کنند. هر اندازه انحنای یک پوسته بیشتر باشد، بار بیشتری را می‌تواند تحمل کند. (گلابچی و خرسند نیکو،۱۳۹۳،۲۷۳)

پوسته‌های دارای انحناء را می‌توان بر مبنای هندسه و شکلشان تقسیم‌بندی کرد. بر طبق تقسیم‌بندی فولر مور[۱۱] پوسته‌ها با توجه به هندسه به موارد زیر طبقه‌بندی می‌شوند (Moore, 1998, 198):

- پوسته‌های سین کلاسیک[۱۲] (تصویر ۲- a).
- پوسته‌های آنتی کلاسیک[۱۳] (تصویر ۲- b).
- پوسته‌های قابل توسعه[۱۴] (تصویر ۲- c).
- پوسته‌های فرم آزاد[۱۵] (تصویر ۲- d).

بنابراین با در نظرگرفتن نظم هندسی، پوسته‌ها با انحنای ظاهری به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

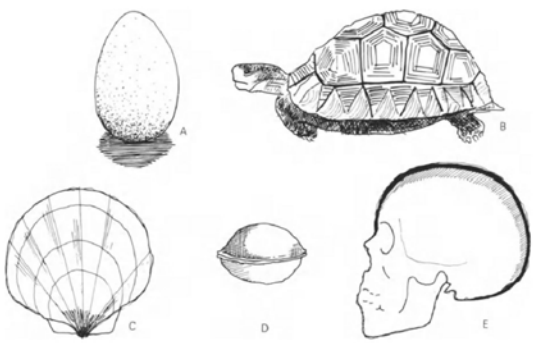
الف) پوسته‌های منظم دارای دو انحناء که خطوط انحنا در هر دو جهت آن‌ها یکسان است، به پوسته‌های «سین کلاسیک» مشهورند؛ مانند: پوسته‌های هلالی، کروی، دایروی، سهموی و بیضوی؛ ب) پوسته‌های منظم با دو انحناء که دارای دو انحنا در دو جهت مخالف هم هستند و به پوسته‌های «آنتی کلاستیک» مشهورند؛ مانند: پوسته‌های زین اسبی. نمونه رایج این پوسته، سهموی هذلولی‌ها، شبه مخروط‌ها و هذلولی‌های یک صفحه‌ای هستند؛ ج) پوسته‌های منظم دارای یک انحناء که به پوسته‌های «قابل توسعه» مشهورند. این پوسته‌ها در یک جهت دارای خطوط مستقیم و در جهت دیگر دارای انحناء می‌باشند؛ مانند: پوسته‌های استوانه‌ای. د- پوسته‌های «نامنظم با فرم آزاد» که همان‌طور که از نام آن پیداست از محاسبات ریاضی مشتق نمی‌شوند.

۱-۲. گونه‌شناسی پوسته‌های سین کلاستیک

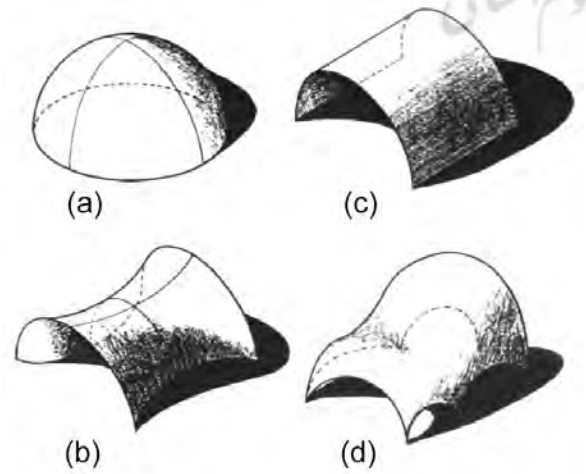
همان‌طور که پیشتر گفته شد پوسته‌ها در حالت کلی به دو نوع دارای انحناء و دارای تاشدگی تقسیم می‌شوند. در بررسی گونه شناسی پوسته‌ها بر اساس انحناء در جهات مختلف با توجه به مقادیر تعیین شده حالات متفاوتی متصور می‌گردد که شامل پوسته‌های دارای یک جهت انحنایی، پوسته‌های دارای ۲ جهت انحنایی (همگون انحنایی و ناهمگون انحنایی) و پوسته‌های دارای فرم آزاد می‌شود (Mansoori et al., 2019,706) (تصویر۳).

در پوسته‌های دارای انحناء با در نظر گرفتن نظم هندسی و افزودن مقادیر K1 و K2 که به ترتیب انحناء خطوط در جهت محور X و Y به طرف محور Z می‌باشند، حالات مختلف پدید می‌آید:

الف) زمانی که K1=0 , K2=0 می‌باشد و یا مقادیر بسیار کوچک است، پوسته از نوع Zeroclastic است و در این حالت انحناء در هر دو جهت به صفر رسیده است؛ ب) زمانی که K1=۰ , K2>۰ می‌باشد



تصویر۱- انواع پوسته‌ها در طبیعت. مأخذ: (Melaragno, 1991,121)



تصویر۲- انواع خمیدگی پوسته‌های منظم.
(a) - سین کلاستیک، (b) - آنتی کلاستیک، (c) - قابل توسعه، (d) - فرم آزاد
مأخذ: (Moore,1998,198)

پوسته از نوع Monoclastic است و انحناء فقط در یک جهت به‌صورت مثبت و یا منفی صورت گرفته است؛ ج) زمانی که K1>۰ , K2>۰ می‌باشد پوسته از نوع Synclastic است و انحناء در هر دو جهت مثبت و یا منفی می‌باشد؛ د) زمانی که K1<۰, K2>۰ می‌باشد پوسته از نوع Anticlastic است و انحناء در دو جهت مخالف شکل گرفته است.

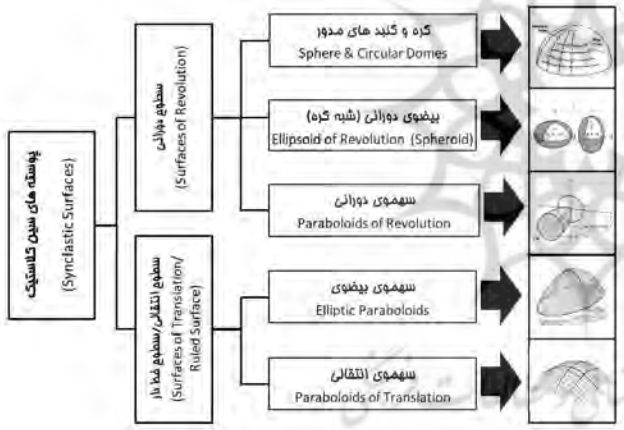
بنابراین پوسته‌های سین کلاسیک و یا به عبارتی پوسته‌های همگون انحنایی در طبقه‌بندی انواع پوسته‌ها جزو زیرمجموعه سطوح منحنی منظم غیرقابل توسعه قرار خواهند گرفت به‌طوری‌که دارای دو انحناء می‌باشند و جهت‌های انحنایی آنها یکسان خواهد بود (تصویر ۴). نمونه‌هایی از پوسته‌های حاصل از سطوح دورانی[۱۶] و پوسته‌های حاصل از سطوح انتقالی[۱۷] و سطوح خط‌دار[۱۸] هم به این گروه تعلق دارند (Far-shad, 1992, 8).

به‌منظور شناخت دقیق‌تر پوسته‌های سین کلاستیک ابتدا بایستی به شناسایی پوسته‌هایی که حاصل از سطوح دورانی هستند پرداخته شود و سپس به بررسی پوسته‌های سین کلاستیک حاصل از سطوح انتقالی و یا سطوح خط‌دار پرداخت. پوسته‌های سین کلاستیک حاصل از سطوح دورانی شامل: ۱. کره و گُنبدهای مدور[۱۹]؛ ۲. پوسته‌های بیضوی دورانی[۲۰] و یا شبه‌کره[۲۱]؛ ۳. پوسته‌های سهموی دورانی[۲۲] می‌شود. پوسته‌های سین کلاستیک حاصل از سطوح انتقالی و سطوح خط‌دار شامل: ۱. پوسته‌های سهموی بیضوی[۲۳]؛ ۲. پوسته‌های سهموی دورانی[۲۴] می‌گردند (تصویر۵).

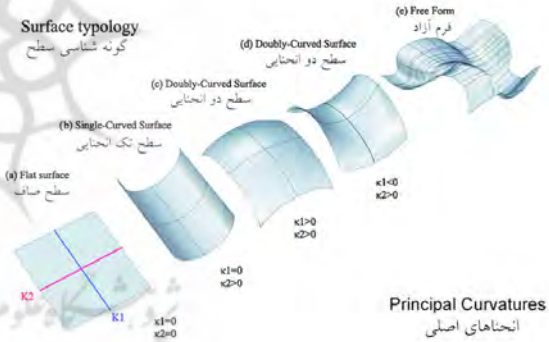
۲. اصول فرمی پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت

فرم‌های پیرامون ما از لحاظ شکل پیداشدن و آفرینش، به دو صورت کلی طبیعی و غیرطبیعی تقسیم می‌شوند (عموئیان، ۱۳۹۶، ۱۸۳،۱۳۹۶). پوسته‌ها در طبیعت از متنوع‌ترین فرم‌هایی هستند که در دنیای فیزیکی اطراف ما یافت می‌شوند. از آنجایی که اکثر پوسته‌ها در طبیعت دارای انحناء می‌باشند می‌توان به اهمیت جمله معروف آنتونی گائودی[۲۵] بیشتر پی برد: «در طبیعت هیچ خط مستقیمی وجود ندارد» (Lampugnani, 1997, 119).

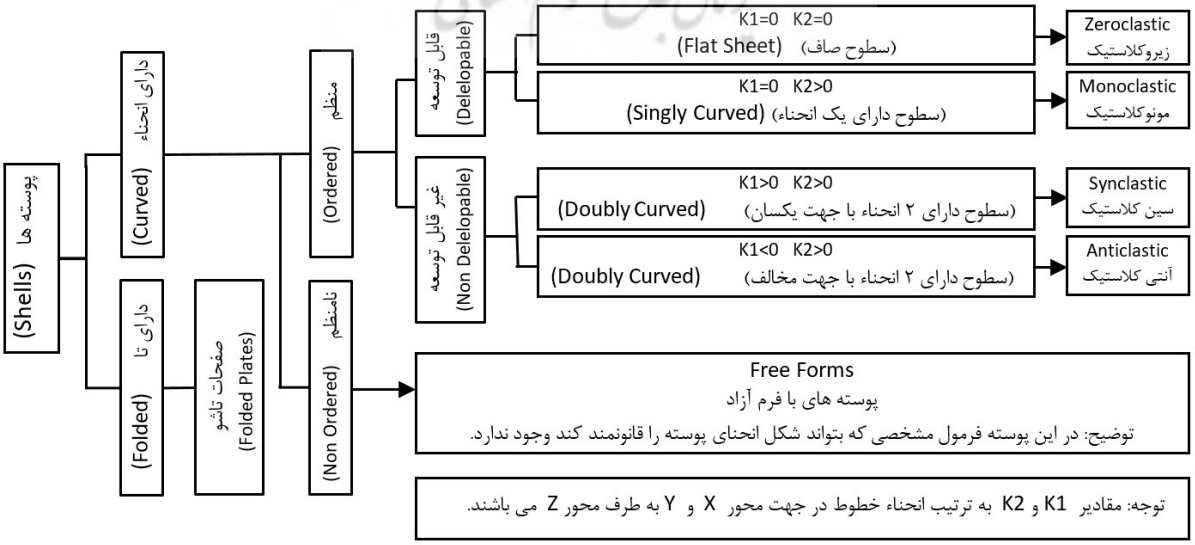
فرم‌های طبیعی اطراف ما می‌توانند اتفاقی، ساده، پیچیده و گسترده باشند. این فرم‌ها ممکن است مبنای هندسی داشته باشند و یا اینکه به گونه‌ای تلفیقی در طبیعت دیده شوند. از آنجایی که هندسه طبیعت در برابر هندسه اقلیدسی[۲۶] قرار گرفته است (اُفتخارزاده، ۱۳۸۴). بایستی به‌صورت واقعی به آن نگریست و تنها نباید از منظر فرم ۲بُعدی به این قضیه نگاه نکرد. در نتیجه‌ی ساختار سه‌بُعدی فرم‌های طبیعت، هندسه‌های نااقلیدسی[۲۷] شکل گرفته‌اند. اختلاف بین هندسه‌های اقلیدسی در سطوح صاف و نااقلیدسی در سطوح دارای انحنا نظیر فرم‌های کروی و زین اسبی، منجر به شکل‌گیری هندسه‌های هذلولوی



تصویر ۵ -گونه‌شناسی پوسته‌های سین کلاستیک.



تصویر ۳ -گونه‌شناسی پوسته‌ها بر اساس انحناء در جهات مختلف.
مأخذ: (Mansoori et al., 2019, 706)



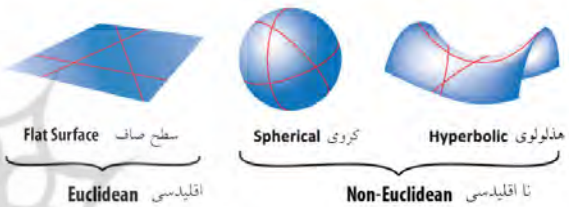
تصویر ۴ -گونه‌شناسی پوسته‌ها.

و بیضوی می‌شود:

هندسه هذلولوی[۲۸]: اصل توازی هندسه هذلولوی- از یک خط و یک نقطه ناواقع بر آن، دست‌کم دو خط موازی با خط مفروض می‌توان رسم کرد.

هندسه بیضوی[۲۹]: اصل توازی هندسه بیضوی- از یک نقطه ناواقع بر یک خط، نمی‌توان خطی به موازات آن خط رسم کرد (تصویر ۶).

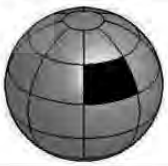
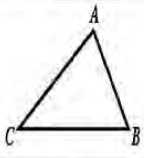
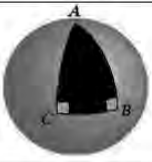
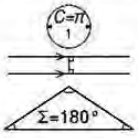
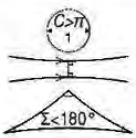
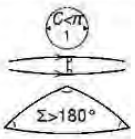
هندسه بیضوی یکی از هندسه‌های نااقلیدسی است که به هندسه ریمانی نیز مشهور است. در سال ۱۸۵۴ فریدریش برنهارد ریمان[۳۰]، نشان داد که اگر نامتناهی‌بودن خط مستقیم کنار گذاشته شود و صرفاً بی‌کرانگی آن مورد پذیرش واقع شود، آنگاه با چند جرح و تعدیل جزئی در اصول موضوعه، هندسه سازگار نااقلیدسی دیگری به‌دست می‌آید. یعنی به عبارتی با توجه به اصل توازی هندسه بیضوی در هندسه بیضوی خطوط موازی وجود ندارد. در هندسه بیضوی مجموع زوایای یک مثلث بیشتر از ۱۸۰ درجه است. در هندسه بیضوی با حرکت از یک نقطه و پیمودن یک خط مستقیم در آن صفحه، می‌توان به نقطه اول بازگشت. هم‌چنین می‌توان دید که در هندسه بیضوی نسبت محیط یک دایره به قطر آن همواره کم‌تر از عدد پی است (جوادی و جوادی، ۱۳۸۷) (جدول ۱).



تصویر ۶ - هندسه‌های اقلیدسی و نااقلیدسی (کروی / بیضوی و هذلولوی).
مأخذ: (URL1)

در بررسی اصول فرمی پوسته‌ها در طبیعت به بی‌نهایت فرم می‌رسیم که هر کدام زیرمجموعه مجموعه‌های ترکیبی دیگری هستند که از عناصر اصلی آنها منتج می‌شوند. برای شناخت بهتر اصول فرمی پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت، ابتدا به بررسی رویکرد شکل‌گیری و پیدایش پدیده‌های طبیعی در این حوزه پرداخته می‌شود و پس از آن ساختار شکلی آنها را مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در بررسی رویکرد ساخته‌شدن فرم‌های سین کلاستیک در طبیعت، با سه رویکرد: الف) اتفاقی، ب) مبتنی بر هندسه نااقلیدسی، و ج) تلفیقی مواجه می‌شویم. در صورتی که رویکرد ساخته‌شدن اتفاقی باشد به طبع آن ساختار شکلی نامشخص و ناپایدار خواهد بود. رویکرد مبتنی بر هندسه نااقلیدسی خود به دو دسته پوسته‌های سین کلاستیک دارای هندسه بیضوی/کروی: الف) متقارن و منظم، و ب) نامتقارن تقسیم می‌شوند. ساختار شکلی پوسته‌های سین کلاستیک دسته اول دارای: ۱. تقارن دورانی؛ ۲. تقارن انتقالی؛ ۳. تقارن انعکاسی؛ ۴. تقارن دورانی-انعکاسی؛ ۵. تقارن مقیاسی و فرکتال می‌باشد و ساختار شکلی دسته دوم که نامتقارن می‌باشد به گونه‌ایست که فقط دارای تناسب و قواعد هندسی است. رویکرد سوم ساخته‌شدن فرم‌های سین کلاستیک به‌صورت تلفیقی شکل می‌گیرد و وحدت در ساختار و کلیت، ساختار شکلی آن را پدید می‌آورد. این دسته‌بندی اصول فرمی پوسته‌های سین

جدول ۱ - مقایسه هندسه اقلیدسی و نااقلیدسی. **مأخذ:** (Patal, 2018, 73-77; Ryan, 1986)

مقایسه هندسه اقلیدسی و نا اقلیدسی		
	نا اقلیدسی (Non-Euclidean)	
اقلیدسی (Euclidean)	هندسه هذلولوی (Hyperbolic Geometry)	هندسه کروی/ بیضوی (Spherical/Elliptical Geometry)
تاریخ بنیان گزاری: (۵۰۰) ق.م. اقلیدس: یونان Euclid (300 B.C)	تاریخ بنیان گزاری: (۱۸۳۰) کارل فردریش گاوس: آلمان نیکلای ایوانوویچ لوباچفسکی: روسیه فارکاس بولیایی: مجارستان F. Bolyai –C. F. Gauss –N. I. Lobatchevski	تاریخ بنیان گزاری: (۱۸۵۴) جرج فردریش برنهارد ریمان: آلمان G .F .B .Riemann
		
		
		
مجموع زوایای مثلث ۱۸۰ درجه نسبت محیط یک دایره به قطر = عدد پی از یک نقطه ناواقع بر یک خط، فقط می توان یک خط به موازات آن خط رسم کرد.	مجموع زوایای مثلث کمتر از ۱۸۰ درجه نسبت محیط یک دایره به قطر آن > عدد پی از یک نقطه ناواقع بر یک خط، می توان حداقل ۲ خط به موازات آن خط رسم کرد.	مجموع زوایای مثلث بیش از ۱۸۰ درجه نسبت محیط یک دایره به قطر آن < عدد پی از یک نقطه ناواقع بر یک خط، نمی توان خطی به موازات آن خط رسم کرد.

کلاستیک در طبیعت در جدول (۲) نشان داده شده است.

به‌عنوان مثال تخم‌مرغ یک نمونه بسیار عالی از پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت می‌باشد. فرم قوسی شکل پوسته تخم‌مرغ سبب می‌شود که بتواند نیروی وزن مرغی را که بر روی آن می‌خوابد به‌خوبی تحمل کند. رویکرد ساخته‌شدن آن مبتنی بر هندسه بیضوی است و دارای ساختار شکلی تقارن دورانی می‌باشد. جمجمه انسان نیز یک نمونه دیگر بسیار عالی دیگر از پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت می‌باشد، قسمتی از استخوان جمجمه که به «استخوان‌های کرانیال»[۳۱] معروف‌اند و دربرگیرنده مغز می‌باشند، دارای هشت استخوان است که به‌وسیله درزهای غیر متحرکی به یکدیگر متصل شده‌اند. رویکرد ساخته‌شدن آن مبتنی بر هندسه بیضوی است و دارای ساختار شکلی تقارن انعکاسی می‌باشند.

۳. نمونه‌های مختلف پوسته‌های سین کلاستیک در معماری

هنر هر قوم بازگوکننده‌ی نحوه‌ی اندیشه و جهان‌بینی و معتقدات و سنت‌های آن قوم است. هنر معماری بی‌شک یکی از بارزترین مظاهر تمدن هر قوم و ملت است و بهترین بازگوکننده‌ی نحوه‌ی برخورد آن ملت با مسائل مربوط به حیات و بینش وی از جهان خلقت است. (تجویدی، ۱۳۵۰، ۲) پوسته‌های سین کلاستیک در معماری بیشتر در قالب پوشش‌های منحنی خودنمایی می‌کنند. نوع مصالح مصرفی، اندازه دهانه، خیز پوشش، هندسه و روش اجرا در شکل‌گیری فرم نهایی پوششهای منحنی در معماری تأثیرگذار می‌باشند.

پوششهای منحنی که شامل تاق[۳۲] و گُنبد[۳۳] می‌باشند، یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در جهان است. بنا به گفته محمد کریم پیرنیا، «گُنبد ارمغان معماری ایران به جهان معماری» می‌باشد، ایرانی‌ها در دوران قبل از اسلام توانستند که تاق و گُنبد را که پدیده‌ای طبیعی و خاص معماری ایران است را جایگزین بام تخت و خرپشته چوبین کنند (پیرنیا، ۱۳۵۲، ۲). تاق‌ها نیز یک نوع از پوشش منحنی می‌باشند. انواع مختلف تاق‌ها از حرکت یا دوران قوس‌ها در فضا ایجاد می‌شوند و از ترکیب تاق‌های ساده انواع پیچیده‌تر تاق به وجود می‌آیند (پارسا و فخار تهرانی، ۱۳۹۲). نوع دیگر پوشش منحنی، گُنبد است؛ گُنبد نیز در تعریف هندسی این‌گونه شناخته می‌شود: گُنبد مکان هندسی نقاطی است که از دوران چِفدی[۳۴] مشخص حول یک محور قائم به وجود می‌آید. (تصویر ۷) اما در زبان معماری: گُنبد پوششی است که بر روی زمینه‌ای گرد برپا شود. (پیرنیا،۱۳۷۰، ۸) حال آن‌چه که در

جدول ۲ - اصول فرمی پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت.

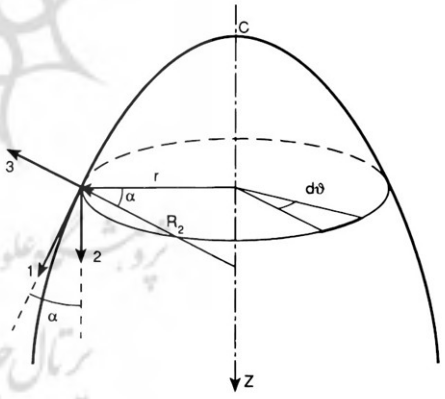
فرم	رویکرد ساخته شدن		ساختار شکلی	نمونه های شناخته شده	تصویر نمونه
پوسته های سین کلاستیک	اتفاقی		نا مشخص، ناپایدار Uncertain, Unstable	حباب و کف بر روی آب	
	مبتنی بر هندسه نا اقلیدسی K1>0 K2>0 دارای انحناء مثبت	هندسه بیضوی یا کروی متقارن و منظم	تقارن دورانی Rotational Symmetry	اقمار و سیاره ها، میوه برخی درختان	
			تقارن انتقالی Translation Symmetry	پوسته برخی از جانوران، پوسته برخی از صدف ها	
			تقارن انعکاسی Reflectional Symmetry	جمجمه انسان، حیوانات و پرندگان پوسته برخی از جانوران	
			تقارن دورانی- انعکاسی Rotational-Reflective Symmetry	گلبرگ برخی گیاهان	
			تقارن مقیاسی و فرکتال Scale Symmetry & Fractals	گلبرگ برخی گیاهان میوه برخی گیاهان	
		هندسه بیضوی نامتقارن	دارای تناسب و قواعد هندسی Proportions and Geometric Rules	لانه برخی پرندگان، برخی کاکتوس ها	
	تلفیقی		وحدت در ساختار و کلیت Unity in Structure and Generality	اکوسیستم های طبیعی، لانه برخی از پرندگان و جانوران	

حوزه پوسته‌های سین کلاستیک مطرح می‌شود این است که آیا همه پوشش‌های تاقی و گُنبدی در معماری در این حوزه قرار خواهند گرفت؟ برای پاسخ به این پرسش بایستی از نمونه‌های مختلف پوشش‌های تاقی و گُنبدی در معماری کمک گرفت.

۳-۱. نمونه‌های تاریخی

معماری، فرآیندی است آمیخته با علم، هنر، ذوق، سلیقه، اعتقاد، ایمان و مهارت‌های خاص که در راستای فرهنگ و تمدن که در گذر تاریخ شکل گرفته و زبان گویای زمانه‌ی خویش است (معماریان، ۱۳۹۱، ۲۲). پوشش بناهای ایرانی به مقتضای زمان و نیاز، ابداع او در گذر زمان، روند تکاملی را طی کرده است. پوشش منحنی (سغ[۳۵])، درواقع پوششی است که از لحاظ شکلی از یک قوس، پیروی می‌کند. انتخاب چفد مناسب برای تحمل بارهای وارد برتاق‌ها و گُنبدها در معماری ایرانی، براساس منطق ساختمانی و ایستایی بنا صورت گرفته است که حاصل سال‌های دراز تجربه و تبحر عملی است. گُنبدهای ایرانی که در گذر زمان با مصالحی همچون خشت، آجر و سنگ بنا گشته اند، این بناها دارای تنوع شکلی گوناگونی شده‌اند که مؤثراز تکنیک ساخت برگرفته از هندسه فرم و توانمندی معمار بوده است (Golombek & Wilber, 1988, 216).

استفاده از سیستم تاق و گُنبد به‌طور گسترده در مناطقی از آسیای مرکزی و آسیای غربی، جنوب اروپا و آفریقا به اتکای ساختمایه‌های بومی هر منطقه مشاهده می‌شود، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک



تصویر ۷ - ایجاد شکل گُنبد با چرخش یک چفد حول محور قائم.
مأخذ: (Carpinteri, 2017)

که طی روز گرمایی با درجه حرارت بالا وجود دارد. سیستم‌های پوشش منحنی‌شکل به‌راحتی گرمای محیط را جذب کرده و هوای فضای داخلی را بهتر از فضای مکعبی شکل کنترل می‌کنند که یکی از دلایل این امر وجود سطوح کم‌تری از سطح جاذب گرما نسبت به پوشش‌های مسطح است. در اقلیم‌های سرد نیز به دلیل کاهش سطح در برخی از حجم‌های ساختمانی، اتلاف گرمایی کم‌تری مشاهده می‌شود (Minke, 2006, 117).

تاق در انواع مختلف آن یک فضا را می‌پوشاند و هر تاق مشخصات خاص خود را داراست (معماریان، ۱۳۹۱، ۳۳۶) شکلی که تاق از نظر ترکیب تابع آن می‌شود همان چَفد است (پیرنیا، ۱۳۷۳، ۵). در بررسی نمونه‌های مختلف تاق‌ها می‌توان آنها را به فرم‌های دارای انحناء قابل توسعه و غیرقابل توسعه دسته‌بندی کرد، در بررسی صورت‌گرفته میان تمامی تاق‌ها، نمونه‌های مونوکلاستیک، سین کلاستیک، آنتی کلاستیک و یا ترکیبی به تفکیک نشان داده شده است (جدول ۳).

این پژوهش نشان می‌دهد که تاق ترکین، تاق چهاربخش، تاق کلنبو، تاق چشمه، تاق کژاوه (کجاوه) و تاق کاربندی در معماری گذشته جزو تاق‌های دارای همگون انحنایی و یا به عبارتی سین کلاستیک به‌شمار می‌آیند. لازم به ذکر است تاق چهار بخش با توجه به حالات مختلف آن، تنها نمونه‌ای است که در دسته سین کلاستیک، آنتی کلاستیک و ترکیبی دیده می‌شود. پژوهش جاری، تاق کاربندی را که در معماری سرزمین‌های اسلامی به‌ویژه ایران بسیار دیده شده است، از نوع سین کلاستیک می‌داند.

در راستای شکل‌گیری تاق، سازه‌ای تاق مانند در جهان معماری ظهور می‌کند که گُنبد نام دارد. در دوره رنسانس اروپا به گُنبد، تاق عالی[۳۶] نیز گفته شده است (معماریان، ۱۳۹۱، ۳۶۶). گُنبد سابقه طولانی در معماری جهان دارد اما تمام گُنبدهای پیشین بر پایه مدور قرار می‌گرفتند و این معماران ساسانی بودند که نخستین‌بار مسأله گُنبد بر سطوح چهار گوش را حل کردند. ازاین‌رو می‌توان گفت ایران سرزمین گُنبدهای واقعی است (Creswell, 1914, 681-684). استفاده از گُنبد که دهانه بزرگی را می‌پوشاند برای اولین بار در شیوه معماری پارتی انجام شده و درواقع گُنبد ارمغانی بود که معماری پارتی به جهان عرضه داشت (رسولی، ۱۳۸۶، ۹۳). گُنبد مسائل زیادی را مطرح می‌کند و در معماری ایرانی به شکل‌های مختلفی مشاهده شده است. گُنبدهای ساخته‌شده در دوران ساسانی بیشتر به‌صورت گرد، بیضی یا سهموی

جدول ۳- گونه‌شناسی پوشش‌های تاقی در معماری گذشته با توجه به مفهوم پوسته‌های دارای انحناء.

پوشش های تاقی در معماری گذشته		تاق آهنگ	تاق ترکین	تاق چهاربخش	تاق کلنبو	تاق چشمه	تاق کژاوه (کجاوه)	تاق خوانچه پوش	تاق کاربندی	تاق قمی پوش
تصویر نمونه										
قابل توسعه	زیرو کلاستیک	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	مونوکلاستیک	***	---	---	---	---	---	---	---	***
غیرقابل توسعه	سین کلاستیک	---	***	***	***	***	***	---	***	---
	آنتی کلاستیک	---	---	***	---	---	---	---	---	---
ترکیبی		---	---	***	---	---	---	***	---	---

بوده‌اند (پوپ، ۱۳۸۸، ۱۸۹).

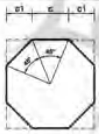
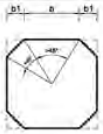
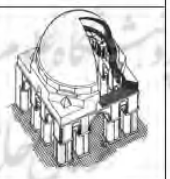
چارتاقی‌ها نیز از مصادیق بارز این الگوی گُنبدخانه‌ای می‌باشند. گُنبدخانه در دوران اسلامی جایگاه شاخصی یافت و در روزگار سلجوقیان به یکی از عناصر اصلی مساجد ایرانی مبدل شد (هوف، ۱۳۶۶، ۴۰۳).

این گُنبدخانه‌ها در هر دوره‌ای روند تکاملی شکل‌گیری خود را سپری کردند تا اینکه بزرگ‌ترین نمونه آن گُنبد سلطانیه واقع در شهر سلطانیه، در ایران با دهانه نزدیک به ۲۵/۵ متر ساخته شد و با بهره‌گیری از شیوه ساخت آن گُنبد کلیسای سانتا ماریا دل فیوره به‌عنوان بزرگ‌ترین گُنبد با مصالح بنایی در جهان با دهانه نزدیک به ۴۴ متر در شهر فلورانس شکل گرفت (سن پائولزی، ۱۹۰۴، ۳۹). حال آن‌چه در حوزه پوسته‌های سین کلاستیک قابل بررسی است، بررسی فرمی گُنبدها می‌باشد، بنا بر تقسیم‌بندی استاد محمد کریم پیرنیا، گُنبد از لحاظ فرم به چهار گروه تقسیم می‌شود:

۱. «گُنبد نار» که رایج‌ترین نوع گُنبد در ایران است، فرم این گُنبد کروی است؛ ۲. «گُنبد رک» که به‌صورت هرمی یا مخروطی می‌باشد؛ ۳. «گُنبد خرپشته» که مانند گُنبد رک هرمی است منتهی سطوح جانبی هرم در این نوع گُنبد با هم برابر نیستند؛ ۴. «گُنبد اورچین» که شبیه گُنبد رک مخروطی است ولی روی آن پلکانی می‌باشد و در انگلیسی «Pineapple Dome» خوانده می‌شود. این گُنبد منحصر به ایران و عراق می‌باشد و در ایران محدود به جنوب غربی کشور است (پیرنیا، ۱۳۷۰).

در بررسی و مقایسه‌ای که میان فرم‌های مختلف پوسته بیرونی گُنبد صورت گرفت مشخص گردید که گُنبدهای خرپشته و اورچین در حوزه پوسته‌های دارای تا قرار گرفته‌اند و در حوزه سین کلاستیک جایگاهی ندارند. اما فرم پوسته بیرونی گُنبدهای رک در دو جایگاه قابل بررسی می‌باشند، اول زمانی که فرم کاملاً مخروطی‌شکل است و دوم زمانی که فرم هرمی شکل می‌باشد، گُنبد رک با فرم مخروطی در حوزه پوسته‌های دارای انحناء قرار می‌گیرند و در دسته پوسته‌های مونوکلاستیک می‌باشند. گُنبد قابوس یک نمونه بارز دارای گُنبد رک با فرم مخروطی در معماری گذشته می‌باشد، با توجه به فرم مخروطی گُنبد در دسته پوسته‌های مونوکلاستیک قرار گرفته است، اما گُنبد-های رک با فرم هرمی مانند گُنبد آرامگاه میر حیدر آملی درست در وضعیت مشابهی مانند گُنبدهای خرپشته و اورچین قرار می‌گیرند و به لحاظ کلیت شکل هندسی جزو نمونه‌های دارای تا محسوب می‌گردند. بررسی‌های صورت‌گرفته حاکی از آن است که گُنبدها به لحاظ فرمی هر کدام جایگاه مخصوص به خود را دارا هستند (جدول ۴). بنابراین پژوهش جاری حاکی از آن است که در معماری گذشته تنها گُنبدهایی با فرم ناری در حوزه پوسته‌های دارای انحناء سین کلاستیک قرار می‌گیرند.

جدول ۴ - گونه‌شناسی فرمی پوسته بیرونی گُنبد در معماری گذشته.

گنبد از لحاظ فرم در معماری گذشته			گنبد ناری	گنبد رک		گنبد خرپشته	گنبد اورچین
فرم پوسته ی بیرونی	کلیت شکل هندسی		شبه کروی	مخروط	هرم	هرم	مخروط مضرس
	تصویر نمونه						
							
			طرح ۳ بعدی گنبد خانه خواجه نظام الملک، مسجد جامع اصفهان ایران - اصفهان ۴۷۳ ه.ق.	گنبد قابوس- ایران- گنبد کاووس ۳۹۷ ه.ق.	گنبد آرامگاه میر حیدر آملی ایران- آمل قرن ۹ ه.ق.	گنبد آرامگاه میر بزرگ ایران- آمل قرن ۹ ه.ق.	گنبد آرامگاه یعقوب لیث صفاری ایران- دزفول ۱۰۵۰ ه.ق.
دارای تا	قابل توسعه		---	---	***	***	***
	غیرقابل توسعه		---	---	---	---	---
دارای انحناء	قابل توسعه	زیرو کلاستیک	---	---	---	---	---
		مونوکلاستیک	---	***	---	---	---
	غیرقابل توسعه	سین کلاستیک	***	---	---	---	---
		آنتی کلاستیک	---	---	---	---	---

۳- ۲. نمونه‌های معاصر

معماران و مهندسان همواره در پی یافتن راه‌حل‌های جدید برای حل مسأله ایستایی و استحکام فضاهای محصور در کنار توجه به مسائل زیباشناختی آن بوده‌اند. توجه به فناوری و به‌کار گیری آن امری اجتناب‌ناپذیر در حل مسائل بوده است. تا اواسط قرن هجدهم، مصالح اصلی در دسترس برای معماران و مهندسان، سنگ، چوب و آجر بود. فلزات، کاربرد محدودی داشتند و اغلب برای ایجاد اتصال بین قطعات ساخته‌شده از سایر مصالح به‌کار می‌رفتند. از گستره وسیع مصالح موجود در آن زمان، سنگ و آجر، در برابر فشار مقاوم، ولی در برابر کشش ضعیف بودند، به همین دلیل برای سازه‌های سه‌بُعدی مثل گُنبدها و طاق‌ها مناسب بودند. بزرگ‌ترین دهانه‌ها در میان گُنبدهای آجری، کلیسای سنت پیترز در رم (۹۳-۱۵۸۸) و سانتا ماریا دلفیوره در فلورانس (۳۴-۱۴۲۰) بودند (Melaragno, 1991, 89).

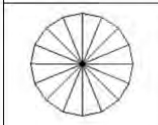
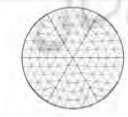
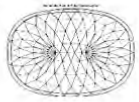
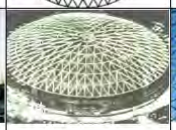
نیمه دوم قرن بیستم شاهد پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه سیستم‌های نوین سازه‌ای همچون سازه‌های غشایی، خریایی، کششی، کش بستی، هوای فشرده، باز و بسته شونده، سازههای فضاکار و ... بوده است (Moore ,1998). از اهداف مورد نظر در خلق و ابداع این سازه‌ها می‌توان به کاهش میزان مصرف مصالح، شفافیت بیشتر، گستردگی بصری و انعطاف‌پذیری بیشتر اشاره کرد. در این راستا سازه‌های سه‌بُعدی نظیر گُنبد به سمت صنعتی‌شدن گام نهادند و فرم‌های جدید و متنوع سین کلاستیک در قالب سازه‌های فشاری و یا کششی شکل گرفتند. در یک دسته‌بندی از فناوری‌های نوین به‌کاررفته در سازه‌های فشاری پوسته‌های سین کلاستیک، می‌توان گُنبدها را به شکل‌های مختلف پوسته مشبک یا پوسته نازک تقسیم‌بندی کرد. گُنبدهای مشبک که در اصل گُنبدهای مهاربندی‌شده می‌باشند دارای حالات مختلف زیر می‌باشند (Lan, 2005, 18): ۱. گُنبد دندانه‌دار؛ ۲. گُنبد دیامتیک؛ ۳. گُنبد لاملا؛ ۴. گُنبد ژئودزیک.

در دسته‌بندی دیگر از فناوری‌های نوین به‌کاررفته در سازه‌های کششی پوسته‌های سین کلاستیک، می‌توان گُنبدها را به سیستم مختلف غشایی(پاشامی) و کابلی تقسیم‌بندی کرد. گُنبد با سازه هوا فشرده و گُنبد با سازه‌کش بستی در این دسته قرار دارند (Moore, 1998). بر اساس منطق سازه‌ای فناوری‌های نوین می‌توان به گونه‌شناسی فرمی سطوح سین کلاستیک در معماری معاصر رسید (جدول ۵).

۴. بهره‌گیری از الگوهای فرمی و ساختاری پوسته‌های سین کلاستیک طبیعت در معماری

الهام از فرم‌ها و سازه‌های طبیعی، از سطحی‌ترین برداشت‌های شکلی تا برداشت‌های عمیق، ناشی از مطالعه رفتارهای فرمی و سازه‌ای اعضا در طبیعت می‌باشد. سازگاری با اقلیم، هندسه فرمی و استحکام سازه‌ای از جمله موارد مشترک میان طبیعت و معماری است که می‌تواند مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. از طرفی می‌توان به طبیعت به‌عنوان یک نیروی فناورانه نگریست، نیرویی که همواره از ابتدای خلقت بشر همواره مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۵ - گونه‌شناسی فرمی پوسته بیرونی گُنبد در معماری گذشته.

منطق سازه ای (Structural logic)		سازه های فشاری (Compressive Structures)				سازه های کششی (Tensile Structures)	
سطوح سین کلاستیک (Synclastic Surfaces)	فناوری های نوین در معماری (Contemporary Technology in Architecture)	پوسته شبکه ای یا پوسته نازک (Grid-Shell or Thin Shell)				غشایی یا کابلی (Membrane or Cable-net)	
		گنبد دندانه دار Ribbed Dome	گنبد دیامتیک Diamatic Dome	گنبد لاملا Lamella Dome	گنبد ژئودزیک Geodesic Dome	هوا فشرده Air Supported	کش بستی Tensegrity
							
							
		گنبد رایشتاگ (Reichstag) آلمان برلین ۱۹۹۹ م.	استرودوم (Astrodome) آمریکا تگزاس ۱۹۶۴ م.	مرکز خرید پانورا (Panora) ترکیه آنکارا ۲۰۰۷ م.	پروژه باغ بهشت (Eden Project) انگلستان لندن ۲۰۰۰ م.	گنبد هوا فشرده (Air Supported) سازه متحرک ۲۰۰۵ م.	گنبد جورجیا (Georgia Dome) آمریکا آتلانتا ۱۹۹۲ م.

در مطالعه مورفولوژی طبیعت، پوسته‌ها بسیار فراوانند، بخصوص نوع سین کلاستیک آنها. تخم پرندگان، پوسته‌های جانوران دریایی، لاک‌پشت‌ها، جمجمه‌ها، دانه گیاهان و بسیاری از لانه‌هایی که پرندگان خاص با غریزه می‌سازند همه بر پایه این نوع پوسته می‌باشند. پرندگان سازندگان شگفت‌انگیز سازه‌هایی هستند که استحکام و کارآیی آنها با محصولات نبوغ انسان رقابت مطلوبی دارد. لانه پرنده، نمونه خوبی از گُنبد معکوس است که از غریزه حیرت‌انگیز پرندگان حاصل می‌شود و از بهره‌وری شکل هندسی گُنبدی و از موادی که به‌راحتی در دسترس هستند شکل گرفته است. این مواد معمولاً کاه، شاخه و علف هستند و بیشتر در کشش عمل می‌کنند. در بسیاری از موارد از گل نیز استفاده می‌شود. وقتی سخت می‌شود مقاومت فشاری به لانه اضافه می‌کند و ساختار را بیشتر تثبیت می‌کند. البته همه لانه‌ها به یک شکل ساخته نشده‌اند، و همه آنها فرم «جام‌گونه»[۳۷] ندارند، اما نمونه‌های گُنبدی شکل، اغلب استادانه و خیره‌کننده می‌باشند. یک نمونه از آن لانه‌هایی است که توسط پرنده‌ای به نام «بافنده اجتماعی»[۳۸] در آفریقای جنوبی ساخته شده است (تصویر ۸).

این نوع لانه‌ها که دارای پوشش گُنبدی‌شکل هستند، توسط گروه‌هایی از پرندگان ساخته شده است که ممکن است در بعضی مواقع شامل ۱۰۰ پرنده نر و ماده باشد. ساختارهای ساخته‌شده در یک درخت می‌تواند تا ۳ متر برسد و اغلب حاوی لانه‌های منفرد کوچک‌تر است. یکی دیگر از ساختارهای جالب گُنبدی‌شکل در طبیعت، لانه ساخته شده توسط «مرغ تنورساز»[۳۹] آمریکای جنوبی است. این لانه گُنبدی توخالی است که با گل ساخته شده و توسط چمن و الیاف دیگر تقویت شده است. قطر تقریباً ۳۰ سانتی‌متر، ضخامت آن تقریباً ۱۳ میلی‌متر یا بیشتر است. سازه کاملاً محصور در انتهای خود ورودی باریک و غیرمستقیم دارد (Melaragno, 1991, 121).

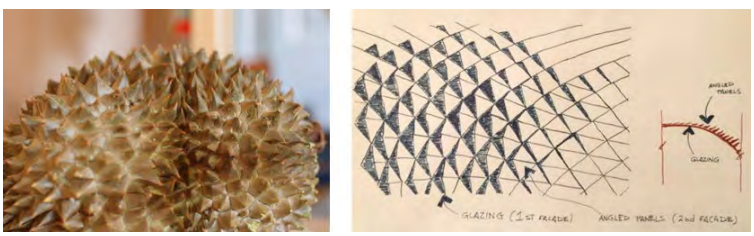
امروزه با بهره‌گیری از ساختار فضایی لانه پرندگان، پوسته‌های سین کلاستیک به‌ویژه گُنبدها به گونه جدید ساخته می‌شوند. جست‌وجوی سیستم‌های جدید سازه‌ای یکی از اهداف اصلی تحقیق معماران و مهندسان بوده است. با صنعتی‌شدن و توسعه جهان مدرن، تقاضای ساختارهای فضایی کارآمد و سازگار وجود دارد. اخیراً ساختارهای فضایی به دلیل تنوع و انعطاف‌پذیری گسترده، دارای اشکال جدیدی هستند. طی نیم‌قرن اخیر در سراسر جهان علاقه فزاینده‌ای به ساختارهای قاب فضایی مشاهده شده است. با ظهور تکنیک‌های جدید ساختمانی و مصالح ساختمانی، سازه‌های فضاکار اغلب پاسخ صحیح را ارائه می‌دهند و الزامات سبک‌بودن، صرفه اقتصادی و ساخت سریع را برآورده می‌کنند (Kim & Park, 2018, 101).

میوه دورین با بهره‌گیری از پوسته بیضوی نیمه سفت و سخت تحت فشار خود برای محافظت از دانه‌های داخل آن استفاده می‌کند. با بهره‌گیری از این ایده یعنی فرم پوسته میوه در طراحی پوشش تأتر اسپلاندر در سنگاپور الگوبرداری شده است. فریم‌های فضایی سبک و منحنی که مجهز به شیشه‌های مثلثی و سیستم آفتاب‌گیر رنگی هستند فضای داخل را از گرمای بالا محافظت می‌کنند. الگوی پانل‌های مثلثی به گونه‌ای بر روی پوسته سین کلاستیک طراحی شده است که در طول روز پانل‌ها مسیر خورشید را با تغییر زاویه «دنبال» می‌کنند تا فضای داخلی به‌طور مناسب از سایه بهره‌مند شود (Szczyrba, 2015, 18) (تصویر ۹).

با مطالعه بیشتر بر روی طبیعت و جست‌وجوی نمونه‌های پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت می‌توان به منابع بی‌کران در مقیاس نانو دست یافت و به لزوم به‌کارگیری میکروسکوپ‌های الکترونی برای دستیابی به فرم‌ها و ساختارهای حیاتی اشاره کرد. به‌طور نمونه می‌توان به میکرواسکلت‌های رادیولاریایی اشاره کرد که در ارگانیسم‌های تک‌سلولی یافت می‌شود (Mann, 2001).

با تمرکز بر گونه‌های تک‌سلولی رادیولارها، بدیهی است که به‌رغم سادگی و ظرافت مقایسه‌ای، اسکلت‌های رادیولاریایی ظرافت فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد سبک‌بودن آنها کارایی زیادی از عملکرد ساختاری را نشان می‌دهد. رفتار ساختاری اسکلت‌های رادیولاریایی شبیه حباب‌های صابون، ساختارهای سلولی و حتی ساختارهای مولکولی است. اصل کشش سطحی نقش مهمی دارد، زیرا رادیولاری‌ها در شرایط مطلوب اقیانوس که به حداکثر اندازه کلی

تصویر ۸- پرنده «بافنده اجتماعی» در سمت راست و لانه گُنبدی شکل در سمت چپ. مأخذ: (Url 2, Url 3)

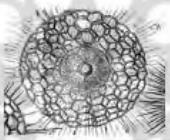


تصویر ۹- میوه «دورین» در سمت چپ و الگوبرداری از فرم آن در طراحی تأتر اسپلاند در سنگاپور در سمت راست. مأخذ: (Szczyrba , 2015 , 81)

می‌رسند، از کم‌ترین مقدار مواد ممکن در ساخت اسکلت‌های سیلیکونی خود بهره می‌گیرند (Van Embden Andres et al., 2011).

پوسته‌های سین کلاستیک در ادوار مختلف معماری کانون توجه معماران قرار گرفته‌اند، با توجه به اهمیت بالای آنها در پوشش فضاهای گسترده مطالعات و تحقیق بر روی فرم و ساختار این پوسته‌ها هم‌چنان ادامه دارد. از آنجا که بشر در طول تاریخ، همواره از طبیعت به‌عنوان الگو برای اکتشاف و خلق آثار خود استفاده کرده است، اهمیت الگوبرداری و الهام از طبیعت بسیار مورد توجه دانشمندان علوم مختلف قرار گرفته است و حاصل این تحقیقات شکل‌گیری علم نوپای بایونیک شده است. بایونیک و به عبارتی زیست الگو، «رمزگشایی از ابداعات طبیعت پویا و اجرای خلاقانه آنها در تکنولوژی»[۴۰] می‌باشد. معماران نیز از این قضیه مستثنی نبوده‌اند و تلاش‌های بسیاری در جهت شناخت و الگوبرداری صحیح از طبیعت را همواره در دستور کار خود قرار داده‌اند. به بیان دیگر می‌توان اظهار داشت که معماران همواره از فرم‌ها و ساختارهای طبیعی، گیاهی، جانوری و انسانی الگوبرداری کرده‌اند و طبیعت همواره پاسخی برای سؤالات انسان داشته است. بنابراین در بررسی فرم پوسته‌های سین کلاستیک در معماری، می‌توان همواره از منطق سازه‌ای بهره‌مند شد و از الگوهای بی‌شمار طبیعی، گیاهی، جانوری و انسانی در تلفیق با تکنولوژی استفاده کرد و این ابداعات در جهت توسعه ظرفیت‌های طبیعی هم‌چنان ادامه خواهند داشت (جدول ۶). همان‌طور که در نمونه‌های جدول (۶) اشاره شده است، آثار بهینگی پوسته‌های سین کلاستیک طبیعی در کار معماران دیده می‌شود:

جدول ۶- نمونه‌هایی از فرم و سازه پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت و بهره‌گیری در معماری.

سطوح سین کلاستیک (Synclastic Surfaces)		طبیعت (Nature)		معماری (Architecture)	
فرم و ساختار	طبیعی	لانه پرنده: دارای تناسب و قواعد هندسی		ورزشگاه ملی پکن پکن- چین ۲۰۰۸ م.	
		رادیولاریا: دارای تقارن دورانی		پروژه باغ بهشت کورن وال- انگلستان ۲۰۰۱ م.	
		کندوی زنبور های بی عسل: دارای هندسه بیضوی نامتقارن			
	گیاهی	میوه دورین: دارای تقارن انتقالی		مرکز تأثر اسپلاند سنگاپور- سنگاپور ۲۰۰۲ م.	
		کاکتوس: دارای تقارن دورانی انعکاسی		مسجد بی بی خانم سمرقند- ازبکستان قرن ۸ ه.ق.	
		پوست بادام: دارای تقارن انعکاسی			
		گرده در گیاهان: دارای وحدت در ساختار و کلیت			
	انسانی یا جانوری	چشم انسان: دارای تقارن دورانی		شهر علم و هنر والنسیا- اسپانیا ۲۰۰۱ م.	
		جمجمه پرنده: دارای تقارن انعکاسی		طراحی غرفه نمایشگاهی در صحرا- آندرس هریس ۲۰۱۰ م.	

پروژه‌های ورزشگاه ملی پکن در چین، در سال ۲۰۰۸ م. و نیز باغ بهشت در کورن وال انگلستان، در سال ۲۰۰۱ م. به ترتیب با الهام از ساختارهای طبیعی لانه پرنده و رادیولاریا نشان می‌دهند، با استفاده از فناوری سازههای فضاکار می‌توان به یک ساختار فضایی سبک و در عین حال مستحکم با بهره‌گیری از کم‌ترین مصالح دست یافت که علاوه بر صرفه اقتصادی، تسریع ساخت را نیز در بر داشته است.

پروژههای مرکز تأتر اسپلاند سنگاپور در سنگاپور، در سال ۲۰۰۲ م. و نیز شهر علم و هنر والنسیا در اسپانیا، در سال ۲۰۰۱ م. به ترتیب با الهام از فرم و ساختار گیاهی میوه دورین و فرم و ساختار انسانی چشم انسان توانسته‌اند با به‌کارگیری کم‌ترین مصالح به پوشش‌های فضایی بسیار بزرگ، سبک و در عین حال مستحکم دست یابند.

گُنبد مسجد بی‌بی خانم سمرقند در ازبکستان، مربوط به قرن ۸ ه.ق. با الهام از فرم و ساختار گیاهی کاکتوس توانسته است به یک ساختار مستحکم با بیشترین پوشش فضایی تبدیل شود.

در جدول (۶) به نمونه‌هایی از پتانسیل پوسته‌های سین کلاستیک طبیعی نیز اشاره شده است، نظیر: کندوی زنبورهای بی‌عسل با هندسه بیضوی در دسته فرم و ساختار سطوح سین کلاستیک طبیعی، پوسته بادام با هندسه تقارن انعکاسی و نیز گرده گیاهان با وحدت در ساختار و کلیت در دسته فرم و ساختار سطوح سین کلاستیک گیاهی. بنابراین مطالعه بیشتر بر روی این نمونه‌ها در طبیعت می‌تواند منجر به طرح سؤال‌هایی در ذهن معماران شود، تفکر در زمینه چگونگی شکل‌گیری فرم و ساختارهای طبیعی هر یک از نمونه‌ها می‌تواند منجر به خلق ایده‌های نوین فناورانه در شکل‌گیری معماری گردد.

در نهایت با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان به پتانسیل‌های بالای پوسته‌های سین کلاستیک و برتری آنها نسبت به سایر پوسته‌های مونو کلاستیک، آنتی کلاستیک و نیز پوسته‌های با فرم آزاد اشاره داشت. این پتانسیل‌ها که توأمان در پوسته‌های سین کلاستیک دیده شده است شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. با توجه به تقارن فرمی اکثر پوسته‌های سین کلاستیک و نیز با توجه به اینکه این پوسته‌ها دارای دو انحناء همگون می‌باشند، تعادل حداکثری در فرم و به تبع آن تعادل گرانشی سازه‌ای در این پوسته‌ها به حداکثر میزان خود نسبت به سایر پوسته‌ها می‌رسد.

۲. با توجه به ساختار فرمی که عمدتاً در فشار حداکثری قرارگرفته است، تنوع به‌کارگیری نوع سازه و تنوع استفاده از مصالح نسبت به سایر پوسته‌ها بالاتر رفته است، از طرفی هماهنگی حداکثری امتداد نیروها با امتداد پوسته منجر به هماهنگی بیشتر فرم و ساختار شده است.

۳. پوسته‌های سین کلاستیک دارای پیچیدگی هندسی کم‌تری نسبت به سایر پوسته‌ها می‌باشند و عمدتاً با توجه به تقارن هندسی که دارند، اجرای راحت‌تر و سریع‌تری خواهند داشت، به گونه‌ای که با اجرای یک قطاع و تکرار آن کل ساختار شکل خواهد گرفت.

۴. در پوسته‌های سین کلاستیک با توجه به فرم کروی و یا شبه کروی آنها و نیز هماهنگی حداکثری امتداد نیروها با امتداد پوسته، ضمن استفاده حداقلی از مصالح، مقاومت حداکثری سازه‌ای را نیز در بر خواهد داشت.

۵. ایجاد حجم وسیع‌تری از فضا در زیر این پوسته در مقایسه با سایر پوسته‌ها.

نتیجه

با توجه به مباحث مطرح‌شده و اهمیت الگوبرداری از فرم‌ها و ساختارهای طبیعی، با شناخت دقیق و بهره‌مندی از پتانسیل‌های بالای پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت، می‌توان به ویژگی‌هایی بهینه فرمی و ساختاری این پوسته‌ها نسبت به سایر پوسته‌ها پی برد. به‌منظور شناخت دقیق‌تر ویژگی‌های فرمی و ساختاری پوسته‌های سین کلاستیک، بررسی گونه‌شناسی صورت‌گرفته حاکی از آن است که پوسته‌های سین کلاستیک به لحاظ ساختار هندسی، حاصل دو دسته سطوح دورانی یا انتقالی می‌باشند. فرم‌های کره و گُنبدهای مدور، بیضوی دورانی (شبه‌کُره) و سهموی دورانی در دسته سطوح دورانی قرار دارند، هم‌چنین فرم‌های سهموی بیضوی و سهموی انتقالی در دسته سطوح انتقالی قرار می‌گیرند. باید خاطر نشان کرد پوسته‌های سین کلاستیک تنها در طبیعت ریشه ندارند، بلکه در معماری گذشته ایران نیز از آنها استفاده‌های بسیاری شده است. گونه شناسی تاقی و گُنبدی در معماری گذشته نشان می‌دهد بسیاری از پوشش‌های فضایی تاقی و گُنبدی که در معماری ایرانی استفاده شده است، از انواع پوسته‌های سین کلاستیک هستند، نظیر: تاق ترکین، تاق چهاربخش، تاق کلنبو، تاق چشمه، تاق کژاوه (کجاوه)، تاق کاربندی و انواع مختلف گُنبدهای ناری‌شکل. گونه‌شناسی فرمی پوسته‌های سین کلاستیک بر اساس منطق سازه‌ای در معماری معاصر نیز نشان می‌دهد که بیشترین تنوع سازه‌ای در اجرا نسبت به سایر پوسته‌ها در آنها دیده شده است.

وجه تمایز و برتری پوسته‌های سین کلاستیک از سایر پوسته‌ها را بایستی در بررسی پتانسیل‌های مختلف آنها نشان داد که شامل موارد زیر می‌باشند: ۱. تقارن فرمی اکثر پوسته‌های سین کلاستیک و به تبع آن تعادل حداکثری گرانشی سازه‌ای در این پوسته‌ها؛ ۲. فشار حداکثری در ساختار فرمی و هماهنگی حداکثری امتداد نیروها با امتداد پوسته که منجر به هماهنگی حداکثری فرم و ساختار شده است؛ ۳. پوسته‌های سین کلاستیک دارای پیچیدگی هندسی کم‌تری نسبت به سایر پوسته‌ها می‌باشند و عمدتاً با توجه به تقارن هندسی که دارند، اجرای راحت‌تر و سریع‌تری خواهند داشت؛ ۴. پوسته‌های سین کلاستیک با توجه به فرم کُروی و یا شبه‌کُروی آنها و نیز هماهنگی حداکثری امتداد نیروها با امتداد پوسته، ضمن استفاده حداقلی از مصالح، دارای مقاومت حداکثری سازه‌ای می‌باشند؛ ۵. حجم وسیع‌تری از فضا در زیر این پوسته می‌توان ایجاد کرد.

استفاده از این پوسته‌ها در آینده علاوه بر افزایش بهینگی فرمی و سازه‌ای نسبت به سایر پوسته‌ها می‌تواند به تکامل زبان معماری این مرزوبوم نیز بپردازد. در حال حاضر نمونه‌های بسیار زیادی از پوسته‌های سین کلاستیک در طبیعت وجود دارند اما در دهه‌های اخیر طراحان به دنبال استفاده از آنها کم‌تر رفته‌اند. تنها با پرسشگری و تأمل بیشتر در پدیده‌های طبیعی اطراف، اهمیت این موضوع آشکارتر می‌گردد و می‌توان معماری جدیدی به‌وجود آورد که در فرم، سازه و فلسفه طراحی، هم نوآوری و هم تکامل مفاهیم گذشته را فراهم نماید.

پی‌نوشت‌ها

1.Antoni Gaudi. 2. Louis Sullivan.
3. Frank Lloyd Wright. 4. Alvar Aalto.
5. Jørn Oberg Utzon. 6. Tadao Ando.
7. Frei Paul Otto. 8. Santiago Calatrava.
9. Synclastic Shells. 10. Robert Brown Butler.
11. Fuller Moore. 12. Synclastic.
13. Anticlastic. 14. Developable.
15. Free Form. 16. Surfaces of Revolution.
17. Surfaces of Translation.
18. Ruled Surface.
19. Sphere & Circular Domes.
20. Ellipsoid of Revolution.
21. Speroid. 22. Paraboloids of Revolution.
23. Elliptic Paraboloids. 24. Paraboloids of Revolution.
25. Antoni Gaudí. 26. Euclidean geometry.
27. Non-Euclidean geometry.
28. Hyperbolic geometry.
29. Elliptic geometry.
30. Georg Friedrich Bernhard Riemann.
31. Cranial Bones.

۳۲. تاق= طاق= Vault، سقف منحنی، سقف قوسی شکل، انواع مختلف تاق‌ها از حرکت یا دوران قوس‌ها در فضا ایجاد می شوند و از ترکیب تاق‌های ساده انواع پیچیده‌تر تاق بوجود می‌آیند. بنابراین سطح برخی از تاق‌ها به عکس سطح گُنبد در تئوری قابل گسترش است.

۳۳. گُنبد به انگلیسی Dome و به ایتالیایی Cupola خوانده می‌شود.

۳۴. چَفد (چِفد)= قوس= Arch- به یک منحنی دو بعدی گویند که بر اساس هندسه مشخصی تعریف می شود. در فرهنگ لغت دهخدا، واژه «چَفده» به معنی خمیده و خم و شل آمده است.

۳۵. سغ= پوشش منحنی- این واژه در برابر «تخت» قرار دارد (پیرنیا، ۱۳۷۳، ۷). در فرهنگ لغت دهخدا «سغ» به معنی پوشش و سقف خانه و گُنبد و امثال آن آمده است.

36. La volta per ecceleuza (Cataldi, 1979, 121).
37. Cuplike.
38. Social weaver، نام علمی: Philetairus Socius.
39. Ovenbird، نام علمی: Furnaridae.
40. http://www.biokon.net/bionik/bionik.html

فهرست منابع

اُفتخار زاده، ساناز (۱۳۸۴)، هندسه طبیعت در برابر هندسه اقلیدسی، مجله *معماری و ساختمان*، ۸ (۲).

پارسا، سروناز؛ فخار تهرانی، فرهاد (۱۳۹۲)، نگاهی بر هندسه نظری گُنبد و طاق در معماری ایرانی، *نخستین همایش فناوری و سازه‌های سنتی با محور گُنبدها*، تهران.

پوپ، آرتور اپهام (۱۳۸۸)، *معماری ایران*، تهران: انتشارات سمیرا.

پیرنیا، محمد کریم (۱۳۵۲)، ارمغان‌های ایران به جهان معماری گُنبد، مجله *هنر و مردم*، شماره۱۳۶-۱۳۷ صص ۱-۶.

پیرنیا، محمد کریم ، (۱۳۷۰)، گُنبد در معماری ایران. تنظیم و تدوین: زهره بزرگمهری، مجله *اثر*، شماره ۲۰، صص ۸.

پیرنیا، محمد کریم (۱۳۷۳)، چفدها و طاق‌ها، تنظیم و تدوین: زهره بزرگمهری، مجله*اثر*، شماره ۲۴ .

تجویدی، اکبر (۱۳۵۰)، تداوم در معماری ایران، مجله *هنر و مردم*، شماره ۱۱۱، صص ۱-۱۷.

تقی‌زاده، کتایون (۱۳۸۵)، آموزه‌هایی از سازه‌های طبیعی، درس‌هایی برای معماران، نشریه *هنرهای زیبا*، ۲۸ (۱۱)، صص۸۴-۷۵.

تقی‌زاده، کتایون؛ متینی، محمدرضا، و کاکوئی، الناز (۱۳۹۸)، ساختارهای انعطاف‌پذیر؛ راه‌کاری در جهت کاهش معضلات عملکردی پوسته‌های متحرک، نشریه *هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*، ۲۴ (۲)، صص ۳۹-۴۸.

جوادی، حسین و جوادی، افسانه، (۱۳۸۷)، فیزیک از آغاز تا امروز، ویراستار: فرشید فروزبخش (چاپ دوم). تهران: نشر اندرز.

رسولی، هوشنگ، (۱۳۸۶)، تاریخچه و شیوه‌های معماری در ایران. تهران: پشوتن.

سن پائولزی، پیرو (۱۳۵۳)، *تأثیر معماری گُنبد سلطانیه ایران در ساختمان گُنبد سانتا ماریا دلفیوره ایتالیا*، ترجمه: دکتر رضا کسایی، تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی ایران.

شاهرودی، عباسعلی؛ گلابچی، محمود، و اربابیان، همایون (۱۳۸۶)، بهره‌گیری از طبیعت برای آموزش مؤثردرس ایستایی در رشته معماری در ایران، نشریه *هنرهای زیبا*، ۳۱ (۵)، صص ۴۷-۵۶.

عموئیان، فروغ (۱۳۹۶)، *طبیعت و طراحی*، بابلسر: انتشارات دانشگاه مازندران.

گلابچی، محمود؛ امیری، مجتبی (۱۳۹۵)، *عناصر سازه‌ای برای معماران*، تهران: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

گلابچی، محمود؛ خرسند نیکو، مرتضی (۱۳۹۳)، *معماری با یونیک*، تهران: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مدی، حسین و ایمانی، مرضیه (۱۳۹۷)، فناوری بایومیمیک و الهام از طبیعت، نقش‌جهان، *مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی*، ۸ (۱) ، صص ۴۷-۵۵.

معماریان، غلامحسین (۱۳۹۱)، *معماری ایرانی نیارش*، تدوین: هادی صفایی‌پور، جلد اول و دوم. تهران: نغمه نواندیش.

معین، محمد، (۱۳۸۵)، *فرهنگ فارسی یک‌جلدی*، گردآورنده: عزیزالله علیزاده. تهران: راه رشد.

هوف، دیتریش، (۱۳۶۶)، *گُنبدها در معماری اسلامی*، کرامت ا... افسر و محمد یوسف کیانی، در «معماری ایران در دوره اسلامی»، به کوشش محمد یوسف کیانی، جهاد دانشگاهی.

Butler, R.B. (1998), *Standard Handbook of Architectural Engineering*: A Practical Manual for Architects, Engineers, Contractors & Related Professions & Occupations., McGraw-Hill.

Carpinteri, Alberto. (2017), Static-kinematic duality in beams, plates, shells and its central role in the finite element method. Curved and Layered Structures , Volume 4: Issue 1, De Gruyter: 38-51. https://doi.org/10.1515/cls-2017-0005

Creswell, K.A.C. (1914), The History and Evolution of the Dome in Persia, *Journal of the Royal Asiatic society of the Great Britain and Ireland*, pp. 681- 701

Farshad, M. (1992), *Design and Analisis of Shell Structures* (Solid Mechanics and Its Applications (16)), Springer Netherlands.

Feizabadi, M. Bemanian, M. Golabchi, M. Mirhosseini, S. M. (2013), Methods of Utilizing Natural Organisms in Technological Architecture, *Middle-East Journal of Scientific Research*, 13 (3): 379-389.

Golombek, L. & Wilber, D. (1988), *The Timurid Architecture of Iran & Turan*, Princeton, N. J., Princeton University press. vol. 1.

ogy of a Sustainable Architecture, Birkhäuser- Publisher for Architecture, Germany.

Moore, F. (1998), *Understanding Structures*, United States: McGraw-Hill Education - Europe.

Patal, N. S. (2018), Comparison of Euclidean and Non-Euclidean Geometry, *IOSR Journal of Mathematics (IOSR-JM)*, Vol. 14, Issue 1, pp. 73-77.

Ryan, P. J. (1986), *Euclidean and Non-Euclidean Geometry*, Cambridge University Press, Cambridge.

Szczyrba, S. L. (2015), Human and nature symbiosis: Biomimic architecture as the paradigm shift in mitigation of impact on the environment, *Thesis paper*, M. Arch, Miami University, Oxford (Ohio).

Van Embden Andres, M. V. & Turrin, M. & Von Buelow, P. (2011), Architectural DNA: A Genetic Exploration of Complex Structures. *International Journal of Architectural Computing*, 9(2). https://doi.org/10.1260/1478-0771.9.2.133

URL1: http://www.drmarkliu.com/noneuclidean Date:10 Jan 2021

URL2: https://etc.usf.edu/clipart/25200/25247/weaverbird_25247.html Date:6 Feb 2021

URL3: https://www.arkinspace.com/2018/09/the-spectacular-nests-of-sociable-weaver.html Date:6 Feb 2021

Huerta, S. (2006), Structural Design in the Work of Guadi, *Architectural Science Review*,Vol. 49, No. 4, p. 324.

Kim, J. & Park, K. (2018), The Design Characteristics of Nature-inspired Buildings, *Civil Engineering and Architecture*, 6(2): 88-107.

Lampugnani V. M. (1997), *20th Century Architecture*, New York: Thames and Hudson.

Lan, Tien. T. (2005), *Space Frame Structures, Structural Engineering Handbook*, Ed. Chen Wai-Fah, Boca Raton: CRC Press LLC.

Mann, S. (2001), *Biomineralization*: principles and concepts in bioinorganic materials chemistry, New York: University Press, Oxford.

Mansoori M., Kalantar N., Creasy T., Rybkowski Z. (2019), Adaptive Wooden Architecture, Designing a Wood Composite with Shape-Memory Behavior, In: Bianconi F., Filippucci M. (eds) Digital Wood Design, Lecture Notes in Civil Engineering, vol 24, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8_27

Melaragno, M. (1991), An Introduction to Shell Structures: The Art and Science of Vaulting, New York, Van Nostrand Reinhold.

Minke, G. (2006), Building with Earth, Design and Technol-

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

A Morphological Study of Synclastic Surfaces in Nature and Architecture*

*Ehsan Gholamzadeh[1], Mohammadreza Matini[2], Seyed Yahya Eslami[**3], Gholamreza Talischi[4]*

[1]PhD Candidate of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran.

[2]Assitant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran.

[3]Assistant Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

[4]Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(Received: 10 Dec 2020, Accepted: 4 Apr 2021)

Human beings have always used natural forms as inspiration for the design of their space. Today, technology has improved the integration of natural forms in architecture and has allowed designers to achieve the more complex forms found in nature. The present study focuses on one of the most important sources of inspiration from nature, i.e. synclastic surfaces and explicates how the formal and structural concepts of these surfaces are used in architecture compared to other surfaces. The research method of this paper is comparative and descriptive-analytical, and it uses primary resources and examples to show how the form and structure of natural synclastic surfaces can influence contemporary architecture. The typological study indicates that synclastic surfaces in terms of geometric structure are the result of two categories of revolutional or translational surfaces. The forms of sphere and circular domes, ellipsoid of revolution (spheroid) and paraboloid of revolution are in the category of surfaces of revolution, also the elliptic paraboloids and paraboloids of translational forms are in the category of surface of translation. It should be noted that synclastic shells are not only rooted in nature, but they have also been used extensively in the past architecture of Iran. The typology of arches and domes in the past architecture shows that many of the arched and dome space coverings used in Iranian architecture are of different types of synclastic shells, The formal typology of synclastic shells based on structural logic in contemporary architecture also shows that they have the greatest structural diversity in execution compared to other shells.The difference and superiority of synclastic surfaces from other surfaces should be shown in examining their various potentials, which include the following: 1. Formal symmetry of most synclastic surfaces and consequently the maximum structural gravitational balance in this surfaces; 2. Maximum pressure in the formal structure and maximum coordination of the forces along the surfaces, which has led to the maximum coordination of the form and structure; 3. Synclastic surfaces have less geometric complexity than other shells and will be easier and faster to execute, mainly due to their geometric symmetry; 4. Synclastic surfaces, due to their spherical or spheroid shape and also the maximum coordination of the forces along the surfaces, while using materials minimally, have maximum structural strength; 5. These surfaces have maximum coverage space in different directions. The use of these shells in the future, in addition to increasing the formal and structural optimality compared to other shells, can also evolve the architectural language of this border and canvas. There are many examples of synclastic shells in nature today, but in recent decades designers have sought to use them less. Only by questioning and reflecting more on the natural phenomena around, the importance of this issue becomes clearer and a new architecture can be created that in the form, structure and philosophy of design, provides both innovation and evolution of past concepts.

Keywords
Synclastic Surfaces, Nature, Architecture, Form, Structure, Technology.

* This article is extracted from tthe first author's doctoral dissertation, entitled: "The role of technology in optimizing form and structure in biomimetic architecture (Case study: synclastic shells)" under the supervision of second and third authors and the advisory of forth author at the Borujerd Branch of Islamic Azad University.

** Corresponding Author: Tel: (+98-912) 8179361, Fax: (+98-912) 8179361, E-mail: y.islami@ut.ac.ir