فصلنامه علمی تخصصی معماری سبز
سال ششم، شماره ۱ (پیاپی: ۱۹)، بهار ۱۳۹۹، جلد یک
ISSN: 2476-5368

منطقی کردن و انتقال سطوح منحنی فرم آزاد از مدل شبیه‌سازی کامپیوتری به فضای واقعی(اجرا)، به روش هندسی و ارایه روش ساخت قالب مدل

علی گوهریان[1*] ، افسانه زرکش[2]

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۶
کد مقاله: ۸۴۴۰۴

چکـیده

یکی از اصلی ترین عناصر تشکیل دهنده ی شخصیت یک بنا از نظر معماری؛ بافت و پوشش سطوح آن است. اگر نمای ساختمانی از سطوح مسطح تشکیل شده باشد قطعا تجزیه، تحلیل و اجرای آن بسیار آسان‌تر از سطوح منحنی می باشد. در سطوح منحنی که طبق روابط ریاضیات شکل گرفته است(ruled surface)، در واقع این سطوح دارای قواعدی هستند که در زمان تجزیه، کاملا سطوحی با منطق مشخص را تشکیل می‌دهند؛ اما در سطوح منحنی فرم آزاد روند منطقی در درک و تجزیه آن‌ها وجود ندارد و چالشی اساسی در انتقال این گونه فرم های منحنی مدل شده در فضای رایانه به بیرون (اجرا) می باشد. در این مقاله با روشی هندسی با کمک رایانه به منطقی کردن سطوح منحنی فرم آزاد و سپس شیوه ساخت قالب قطعات منحنی پاسخ می دهیم. به این ترتیب که پوسته ای به صورت منحنی فرم آزاد در فضای رایانه ایجاد کردیم؛ بعد از قرار دادن پوسته در دستگاه مختصات و انطباق دادن آن در محورهای مختصاتی آن را در یک هندسه فضایی مقرر کردیم. پس از ساختن یک مدول مشبک و عبور دادن کل پوسته منحنی از مدول، پوسته به قطعاتی تقسیم شد که در دوجهت دستگاه مختصاتی منطقی گشت (اندازه های معین). حال هر قطعه از پوسته برای منطقی شدن در جهت دیگر مختصاتی (جهت سوم) ۹۰ درجه چرخانیده شد و سپس سایه قطعه به صفحه مقابل خود تصویر گردید و در آخر اندازه قالب قطعات جز به جز استخراج گردید.

واژگـان کلـیدی: منحنی فرم آزاد، منحنی بی قاعده، سطوح منحنی، پنل بندی، قالب منحنی

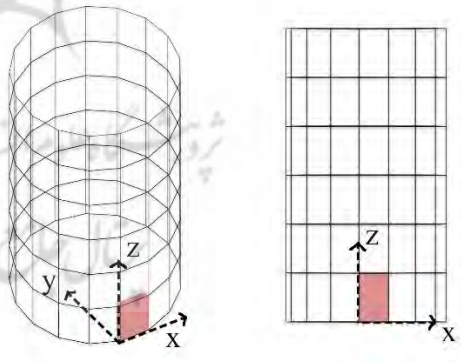
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، (مسئول مکاتبات) *ali.goharian@modares.ac.ir*
۲- دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی ، دانشگاه تربیت مدرس ، تهران ، ایران

۱- مقدمه

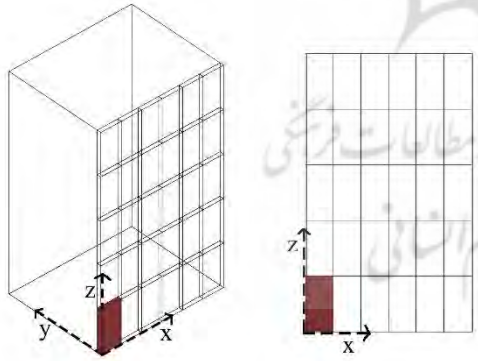
امروزه امکانات تکنولوژی به حدی رسیده است که میتوان با قلم های مخصوص بر صفحه های دیجیتال خط کشید و نتایج حاصل شده آنها را به راحتی و سرعت دریافت نمود (فاطمه مصطفی پور و همکاران،۱۵:۱۳۹۶). نما، یکی از مهمترین اجزاء عناصرکالبدی شهری است که باعث به وجودآمدن حس مکان درفضای شهری برای شهروندان می شود؛ همچنین نشانگر جایگاه فرهنگی و اجتماعی ساکنین ساختمان و نیز تصویر میزان نظم طرح ساختمان است (مهناز محمودی زرندی و همکاران۸۸:۱۳۹۶). در قرن حاضر، در کشورهای توسعه یافته، در صنعت ساختمان و طراحی های بناهایی با نمای غیر متعارف در راستا و منطبق با تغییر سلیقه مردم و مخاطبان ، شاهد پیشرفت چشمگیر تکنولوژی هستیم؛ و جذابیتی که این بناها دارند ، به چهره شهر جلوه های زیبایی بخشیده است. ساختن نمای این گونه بناها مستلزم داشتن دانش بسیار و قدرت زیاد پیاده سازی در حوزه ساخت است؛ که طبعا در کشورهای توسعه یافته این دانش به قدری غنی یافته که به جرات می توان گفت دانش تئوری و قدرت پیاده سازی راهی موازی را طی می نمایند. از طرفی شرکت های مهندسین مشاور و کمپانی هایی که بر روی چنین طراحی های پیچیده و غیر متعارفی کار می کنند، شاید به این علت که پروسه تولید محصولشان همیشه در انحصار بماند به ندرت اطلاعات کاملی در فضای عمومی در اختیار متخصصان قرار می دهند. طراحی دشوار نماها و بناهای منحنی نامشخص و شکسته در فضای رایانه در کنار ضعف بسیار زیاد در حوزه اجرا، چالشی است که سبب گشته طراحان کمتر به طراحی این گونه از نماها رغبت بورزند.

۱-۲- بیان مسئله

یکی از اصلی ترین عناصر تشکیل دهنده ی شخصیت یک بنا از نظر معماری ؛ بافت و پوشش سطوح آن است. اگر چه بسیاری از این بافت ها در دید کلی به آن بنا و از زوایای دور، قابل مشاهده نیستند، اما با نزدیک شدن به ساختمان نحوه پوشش سطوح خارجی آن و هندسه شکل گیری آن مشخص می شود(حمید ابهری،۱۳۹۱:۳۷۹). اگر نمای ساختمانی از سطوح مسطح تشکیل شده باشد قطعا تجزیه، تحلیل و اجرای آن بسیار آسان تر از سطوح منحنی می باشد و تاکنون مهندسان با انواع روش های مختلف به اجرای نماهای مسطح پرداخته اند. به گفته ی Martijn Veltkamp کلیه سطوح به سه دسته تقسیم می شوند؛ سطوح مسطح ، سطوح منحنی تک انحنا ، سطوح منحنی دو انحنا ، که او این سطوح را ruled surface یا به عبارتی ، سطوحی دارای قواعد و منطق مشخص می نامد (MartijnVeltkamp,2007:16). با توجه به استفاده بسیار وسیع کامپیوتر در زمینه طراحی و همچنین کاربرد بسیار زیاد فضای دیجیتال ، که امروزه جزء لاینفک ابزارها در زمینه ساخت محسوب می شوند، طراحی سطوح صاف و مشخص و پروسه انتقال آن به خارج از رایانه تحت یک الگوی بسیار ساده انجام می شود (شکل ۱).



شکل ۱. یک قطعه معین از مکعب (منبع : نگارنده)

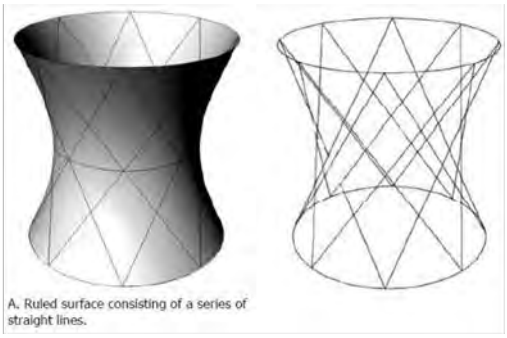


شکل ۲. یک قطعه معین از استوانه (منبع: نگارنده)

حال با قابلیت های فراوان انواع نرم افزارهای طراحی سه بعدی، طراحی و مدل کردن سطوح غیر مسطح با پیچیدگی بسیار زیاد در فضای رایانه سهل الوصول است. اما چالش اصلی منطقی کردن این سطوح است. در سطوح منحنی که طبق روابط ریاضیات شکل گرفته است(ruled surface)، در واقع این سطوح دارای قواعدی هستند که در زمان تجزیه، کاملا سطوحی با منطق مشخص را تشکیل می دهند؛ پس زمانی که به قطعات کوچک تقسیم می شوند، تمام نقاط روی منحنی دارای مختصات منظمی هست، ودرنتیجه طبق الگویی تعیین شده قابل توجیه هستند (شکل ۲).

حتی اشکال زین اسبی ؛ هذلولی و شبه مخروطی (ruled surface) که انحناهای آن ها پیشرفته تر است از موارد قبلی، به علت اینکه دارای معادلات معلومی هستند، از قطعات منطقی معینی تشکیل می شوند. این اشکال گاها در دو جهت مخالف همدیگر ،دارای انحنا می باشند اما باز هم دارای منطق مشخصی هستند که به راحتی قابل تجزیه هستند (شکل ۳). به عبارتی

دیگر سطوح ruled surface از تکرار خطوط مستقیم در کنار همدیگر تشکیل می گردند. (MartijnVeltkamp,2007:16) (شکل ۳).



شکل ۳: خطوط مستقیم درسطوح هذلولی ruled surface (ماخذ Martijn Veltkamp)

اما در سطوح منحنی فرم آزاد روند منطقی در درک و تجزیه آنها وجود ندارد. Ryu(2012) به این صورت توضیح می دهد که؛ تعریف سطوح منحنی فرم آزاد در حوزه محاسبات ریاضی بسیار دشوار است ، و اینکه پانل بندی مسطح ، تنها در سهولت قابلیت ساخت و کاهش هزینه ها انجام می شود.این پانل بندی ها ممکن است از لحاظ زیباشناختی برای طراحان معمار مطلوب نباشد و مشکل ساز شود(Seunghyun son,2017:101-1). به علاوه در مقاله ای، j.Puig-Pey توضیح می دهد که سطوح منحنی فرم آزاد در رایانه به طور محاسباتی چگونه بررسی می شود، اما در حوزه ریاضیات صرفا تحلیل عددی بر این سطوح کار می شود که در نتیجه فاقد کاربرد در حوزه ساخت و طراحی می باشد(J.Puig-Pey,2004:2).

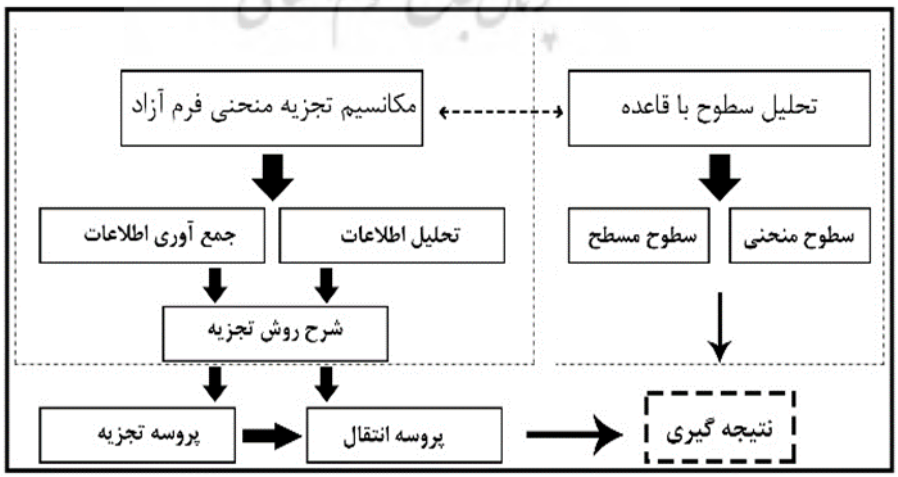
۱-۳- سوالات و روش تحقیق

پرسش هایی که در رابطه با پژوهش حاضر مطرح هستند و خود باعث شکل گیری ساختار این پژوهش می شوند، به شرح زیر است:

- چگونه می توان یک مدل منحنی فرم آزاد(نمای یک بنا) طراحی شده در رایانه را به خارج از رایانه(واقعیت) انتقال داد؟
- با چه روشی می توان منحنی فرم آزاد که فاقد هر گونه قاعده است را ، تجزیه نمود؟
- آیا می توان قطعات تجزیه شده منحنی فرم آزاد را بدون روش قطعات مسطح ؛ یعنی قطعات را به طور کاملا منحنی تجزیه و اجرا نمود؟

روش پژوهش مورد استفاده در این تحقیق ترکیبی از روش های هندسه ترسیمی با بهره گیری از اصول هندسه سطوح در فضای شبیه ساز رایانه ای انجام گرفته ، و روش گردآوری اطلاعات، با استناد به مقالات معتبر داخلی و خارجی صورت گرفته است.

بدین ترتیب پس از شناخت قواعد شکل گیری هندسه انواع سطوح منحنی با قاعده و تشریح منحنی های فرم آزاد ، سپس با مرور انواع برخورد با سطوح منحنی در تجزیه و منطقی کردن آنها، مکانیسم تجزیه یک منحنی فرم آزاد که در فضای رایانه شبیه سازی شد و بعد از آن ساخت قالب منحنی ، ارائه می گردد (شکل۴).



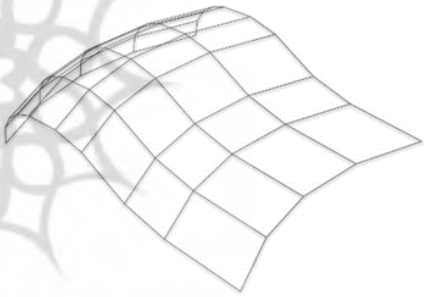
شکل٤. نمودار روش تحقیق و مکانیسم تجزیه منحنی فرم آزاد (منبع:نگارنده)

۱-۴- اهداف و ضرورت

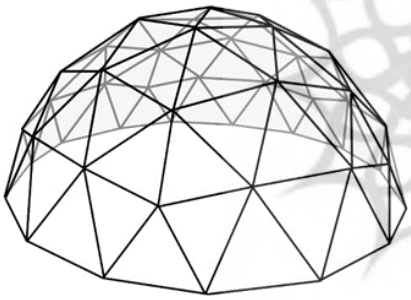
عدم پرداختن به سطوح منحنی غیر متعارف و رغبت ورزیدن کم طراحان به طراحی بناهایی با چنین ظاهری، شاید ابتدا به نظر ریشه در موانع بازدارنده ی فرهنگی داشته باشد، اما واقعیت ماجرا ، ضعف اجرایی در این حوزه است که سبب شده تقاضا در این حوزه تقریبا ناچیز باشد. تحلیل و پردازش ، تسهیل و ساده کردن این اشکال از طریق استدلال های ریاضی میسر است، اما محاسبات پیچیده عددی و در نهایت نتیجه ای با فهم عددی ، پاسخی مناسب به زبان طراحی و اجرا بر این اساس برای طراحان نیست، پرداختن به این موضوع با رویکردی غیر عددی یعنی به طور هندسی و توصیفی ، تصویری قابل فهم تر و واضح تر ارائه می دهد ، که چنین روشی مطلوب سازندگان است و همچنین سبب رغبت بیشتری برای طراحان در رجوع به چنین اشکالی می‌گردد. به علاوه جلوه ویژه و خاصی که این گونه نماهای بدیع به روح شهر می بخشند، و سبب روحیه ای زنده در فضا می گردند، و جنب و جوش را در آن فضا می افزاید، حال چنین بازخوردی می تواند پاسخی مناسب برای ساختمان سازان مجتمع های تجاری ، فرهنگی و توریستی از حیث جذب مخاطب و مشتریان و همچنین منازل مسکونی در حیطه بازار و مارکتینگ باشد. با تسهیل در روش های تحلیل و اجرا در این حوزه طبعا زمینه ای برای ظهور چنین نماهای پیشرفته ای ایجاد می شود و به دنبال آن، آن فقدان تقاضاها در امر طراحی که در حباب خلا گیر کرده اند هم آزاد می شوند.

۱-۵- پیشینه

تا قرن بیستم، ظهور پوسته های چندوجهی را به نوعی می توان در گنبدهای معماری دید که به کمک سطوح آجری یا کاشی کاری ، در تلاش بودند تا سطح گنبدها را بپوشانند که به علت زیبایی و بازدهی اقتصادی ، بسیار پر کاربرد بودند. در سال ۱۹۲۸ مهندس کارل زیس ، Carl Zeiss برای اولین بار از این سطوح چند وجهی با پانل های مثلثی برای ساخت گنبد پلانتاریوم آلمان استفاده کرد و شیوه کار به این ترتیب بود که ابتدا در پلان ، جایگاه هریک از مثلث ها را ترسیم نموده و سپس آن را بر سطح کره تصویر می‌کرد (شکل۵) (Jim chung,2012,241).

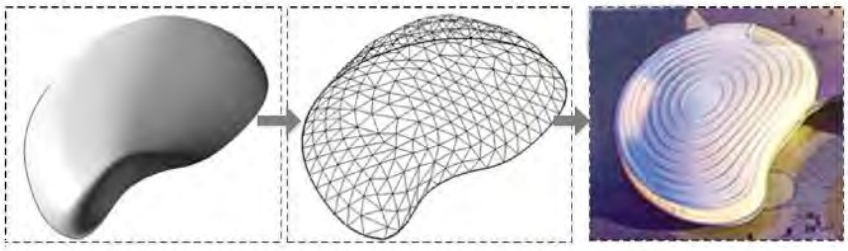


شکل ۵. پوشش منحنی باقاعده توسط پنل های مثلثی، (ماخذ:www.netclipart.com)



شکل٦. پانل های مسطح (ماخذ: نگارنده)

یک مش (mesh) چندضلعی ، مجموعه ای از رئوس ، لبه ها و سطح ها می باشد که شکل یک موضوع چندوجهی را در فضای سه بعدی رایانه و مدل جامد تعریف می کند(شکل۶)(en.wikipedia.org).این رویکرد ،پوشش سطوح منحنی با قاعده ، توسط عناصر مدولار؛ پنل های برابر با انواع اتصالات به سازه را ایجاد می کند(www.netclipart.com). ایده‌های تجزیه الگویی ، در ایجاد هندسه ،گسترش پیدا کرده است. این رویکردها توسط یک نمایش هندسی که مورد استفاده قرار می گیرد ، کنترل می شوند ؛ همچون یک پانل بندی مسطح(mesh)یا مدل حجمی (شکل۷) (Wei,L.-Y,2000,479–488). این روش هم اکنون متداول ترین روش در برخورد با فرم های منحنی آزاد می باشد.

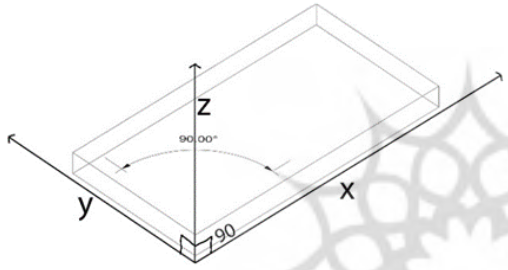


شکل۷ . مدل حجمی یا mesh (ماخذ .Ding H, Wang DW)

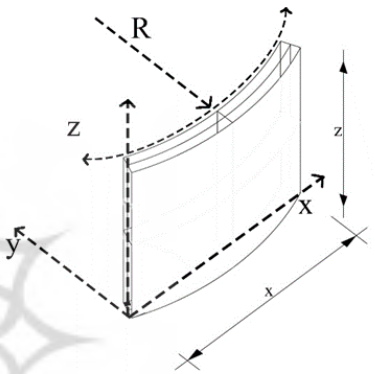
لازم به ذکر است که ساخت قالب ظروف با اشکال گوناگون منحنی، سالهاست که توسط ریخته گران انجام می شود ؛و این امر امروزه توسط دستگاه های تراش ،در چند محور به طور سه بعدی، انجام می شود،که شاید این برخورد از چند نظر با منحنی فرم آزاد مشابه باشد، اما عمده تفاوت آنها در مقیاس می باشد که ظروف به جهت اندازه کوچکی که دارند، نیاز به تجزیه به قطعات کوچک را ندارند و کلیت شکل می تواند یکجا ساخته شود؛ اما در مقیاس ساختمان این امکان وجود ندارد.

۲ . ادبیات موضوع

منظور ما از منطق مشخص در پروسه انتقال سطوح تجزیه شده از مجازی به واقعیت، بدین معنی است که طبق یک اصول هندسی و منظم ، می توان این کار را انجام داد. به طور مثال در مکعب مستطیل شکل۱، یک قطعه تجزیه شده از آن به شکل مکعب مستطیلی است که دارای محورهای x, y , z می باشد. حال اگر ما مقداری مشخص را در طول قطعه در محور x حرکت بدهیم ، یک پاره خط بوجود می آید ؛ و مقدار عرض قطعه را به مقداری مشخص با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور x در محور y حرکت دهیم ، طول و عرض آن قطعه به دست می آید. حال اگر در محور عمودی یعنی محور z مقدار مشخص را با اختلاف ۹۰ درجه ای نسبت به محورهای x و y حرکت دهیم ، سه پاره خط بوجود می آید و قطعه مورد نظر در عینیت تشکیل می شود (شکل۸).



شکل ۸. پروسه انتقال به خارج از رایانه (منبع: نگارنده،)



شکل ۹. پروسه انتقال به خارج از رایانه (منبع: نگارنده)

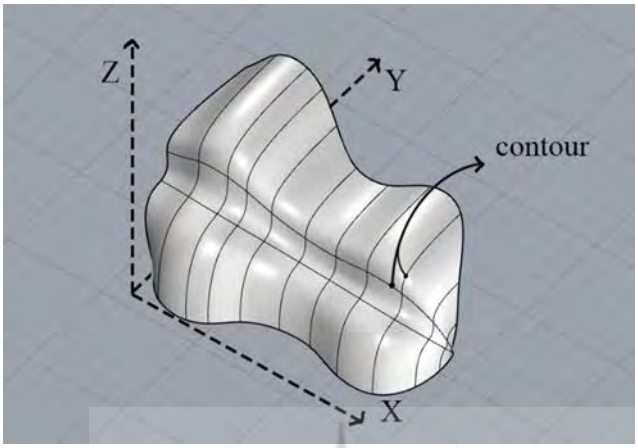
حال چنانچه در یک منحنی قاعده مند،ruled surface (شکل۲) ، بخواهیم این پروسه را اعمال نماییم، بدین شکل است که یک قطعه تجزیه شده دارای طول و عرض مشخصی است که در محور های x و y حرکت می کند ، سپس در جهت محور x دارای شعایی به مقدار R می باشد ، و کمانی با شعاع R در محور، زده می شود، و سپس در جهت محور z ارتفاع داده می شود؛ که بدین ترتیب قطعه ی مجازی ما در واقعیت میتواند عینیت پیدا کند(شکل۹).حال این پروسه طبق گفته در این مقاله، به لفظ «منطقی کردن» اطلاق می شود.

امروزه مشکلات بسیاری در درک سطوح فرم آزاد که از لحاظ هندسه، پیچیده هستند ، چه در طراحی و چه در ساخت، وجود دارد(SeunghyunSon,2017,101,7). با توجه به توضیحاتی که در بالا ذکر شد ، سطوح منحنی فرم آزاد را ، با چنین اصولی نمی توان تجزیه و سپس به عینیت رساند، زیرا انحنای آنها دارای هیچ قاعده ی مشخصی نمی باشند.

۳. مکانیسم

بدنه ها با خطوط مستقیم و سطوح خود ، به آسانی قابل نمایش هستند. طرح های مفهومی با پیچیدگی های بیشتر و طرح های معماری پیچیده هم به همین منوال ؛ اما نیازمند مدلی از خطوط و سطوح منحنی هستند(André Borrmann,37). حال با توجه به توضیحات، قصد داریم، یک سطح منحنی بسیار پیشرفته، که انحناهای آن دارای هیچ قاعده ای نمی باشد، (فرضا نمای طراحی شده یک بنا در فضای دیجیتال) را طوری تجزیه نماییم که به قطعاتی قابل اجرا در عینیت برسد(شکل۱۰). به کمک نرم افزارRhinoceros3D مدل آزمایشی خود را طراحی نموده ایم. در حقیقت این نرم افزار به نسبت همتاهای خود ، مثل CAD دارای دقت بیشتری است. این نرم افزار هم بر اساس مدول mesh و هم بر اساس مدولNURBS برنامه نویسی شده است، که امروزهNURBS به علت داشتن دقت دوبرابری در پوزیشن ها نسبت به mesh ، تعیین بسیار دقیق تقاطع سطوح و قابلیت امتداد و استمرار سطوح دارای محبوبیت بیشتر است(www.rhino3d.com). هنگامی که یک سطح توسط رایانه یا دست کشیده می شود ؛ لازم است یک خط منحنی که لبه ی موضوع را نشان دهد، تعریف شود. این خطوط منحنی در واقع هویت منحنی را

مشخص می کنند ؛ این خطوط به طور اساسی خطوط راهنمایی هستند که به عنوان contour یا separatrix (جداکننده) بر روی سطوح شناخته می شوند (FranciscoGonzalez-Quintia,2015:61). اما باز هم با این تفسیر این سطح در هیچکدام از دسته بندی هایی که طبقه بندی کرده ایم قرار نمی گیرد و به عبارتی دارای هیچگونه قاعده مشخصی نمی باشد و خطوط انحنای (contour) آن ،در هیچ جهت مشخصی نیست. سطوح منحنی فرم آزاد، مقید به هیچ امتداد و سمت و سویی نیستند که بتوانیم برای آن یک جهت خاص را مبنا قرار دهیم ؛ خطوط دائما ، بی قید و شرط در حال تغییر هستند و این جزو اصلی ترین پیچیدگی آنهاست.



شکل۱۰. نمونه پوسته منحنی و کنتورها (منبع: نگارنده)

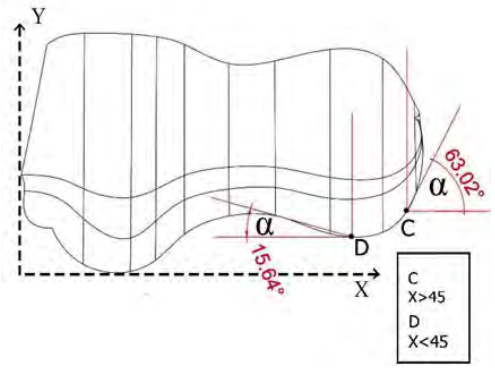
در روشی که ما با این سطوح برخورد می کنیم، تا این سطوح را به قطعاتی تبدیل کنیم که قابلیت ساخته شدن و انطباق کامل از یک مدل مجازی به واقعیت را داشته باشد، یک روش غیر عددی و هندسی می باشد، که در اصل فرآیندیست که منجر به شکل گرفتن قالب قطعه می شود؛ که یکی از مزیت های آن قابلیت درک بسیار راحت آن است. این روش مبتنی بر اصول هندسی می باشد، که باید در درون دستگاه مختصات دکارتی قرار گیرد؛ و به طور کلی تصویر پوسته ی مورد نظر بر صفحات فرضی x و y و z تصویر می شود. با توجه به رعایت سهولت در ساخت قالب قطعه ، پوسته می بایست طوری تقسیم شود که شیب انحنا آنقدری نباشد که سبب دشوار شدن روند ساخت گردد. بدین منظور شیب انحنا در کل پوسته که از ۴۵ درجه نسبت به محور y در تصویر نمای جانب و نسبت به محور x در تصویر پلان بیشتر شد را مطابق شکل برش می‌دهیم.

شکل۱۱. مقطع قطعه با زاویه بیش از ٤٥ درجه و کمتر از ٤٥ درجه (منبع:نگارنده)

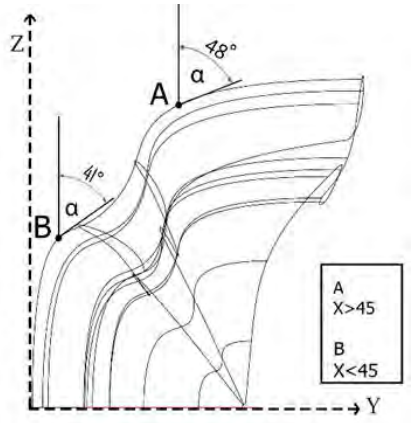
این عمل در واقع به جهت آن است که در زمان ساخت قالب های قطعه ها، اگر شیب انحنا ها بیش از حد باشد، ساخت قالب و همچنین سوار شدن مواد ساخت خود قطعه بر قالب ، با مشکل مواجه می شود. ساخت قطعه می تواند از مصالح متنوعی باشد اما از آنجا که در این مقاله قصد وارد شدن به جزییات مواد و مصالح را نداریم صرفا در این حد توضیح می دهیم که، به طور کلی مصالح یا به صورت مایع بر قالب ریخته می شوند و یا به طور جامد تحت خلا بر روی قالب مکیده می شوند؛ در نتیجه شیب زیاد قطعات یا سبب لغزیدن مصالح می شود یا دستگاه های مکانیزم خلا را دچار اختلال می کند. (شکل۱۱)

پس هرگاه زاویه انحنا (α) در هر صفحه مختصاتی ، از ۴۵ درجه نسبت به افق یا عمود بیشتر شد، می بایست پوسته منحنی را از آن نقطه برش دهیم؛ و قطعات برش خورده را ۹۰ درجه به سمت صفحه ی مبنای خود بچرخانیم. پس در شکل۱۲،در تصویر نمای جانبی فرضا تغییر انحنا (α) در نقطه ی B زاویه ای کمتر از ۴۵ درجه می باشد اما در نقطه ی A این زاویه از ۴۵ درجه بیشتر شده است ،پس شکل مورد نظر از این نقطه می بایست جدا گردد. درشکل۱۳، در تصویر پلان، در نقطه ی D زاویه کمتر از ۴۵ درجه می باشد، اما در نقطه C این زاویه بیش از ۴۵ درجه گشته و می بایست از این نقطه برش ایجاد شود. حال در شکل۱۴،

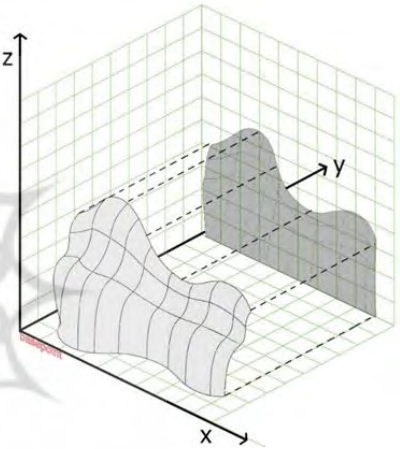
که پوسته به چند قسمت کلی تجزیه گشت، می توان به هر کدام از قسمت ها به طور جداگانه، اما در یک کلیت واحد در یک دستگاه مختصات مجزای دیگر پرداخت.



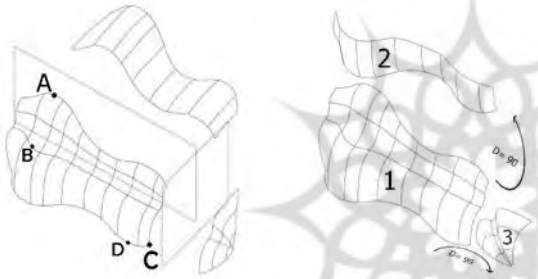
شکل۱۲. نمای جانبی پوسته منحنی آزاد
(منبع: نگارنده)



شکل۱۳. پلان پوسته منحنی آزاد
(منبع: نگارنده)



شکل ۱٤. قسمت شدن پوسته و چرخش آن‌ها
(منبع: نگارنده)

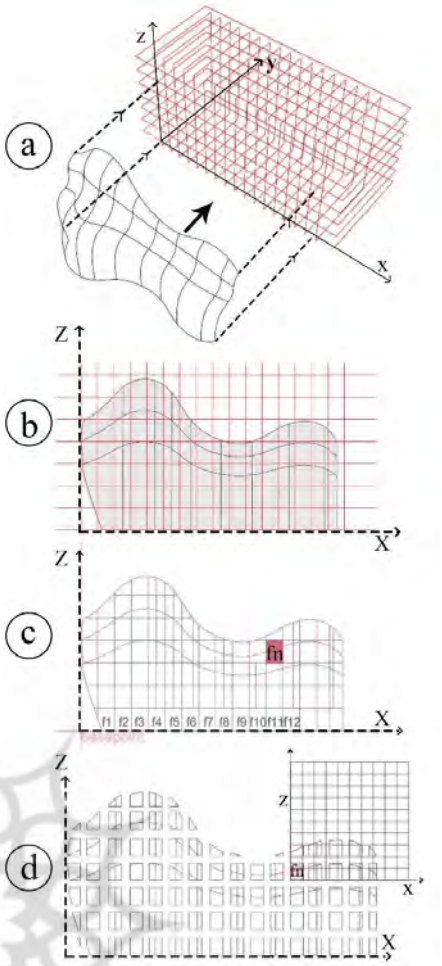


شکل ۱۵. نمونه شماره ۱ و قرار دادن آن در دستگاه مختصاتی با مبنای جدید (منبع: نگارنده)

حال به طور نمونه قسمت شماره ۱ (شکل ۱۴) را در یک دستگاه مختصاتی با یک نقطه مبنا به عنوان مبنای مختصاتی قرار می دهیم. این عمل زمانی که قصد داریم قطعات را تجزیه نماییم، سبب می شود تمام آنها دارای آدرس مختصاتی به طور دقیق باشند(شکل ۱۵).

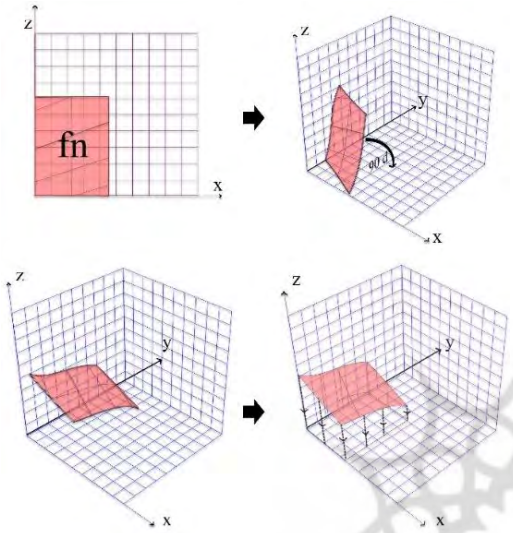
با توجه به اینکه این منحنی در هیچ امتدادی، انحنای مشخصی ندارد و کاملا بی قاعده است ، پس ما برای تجزیه کردن آن به قطعات معلوم و منطقی به یک مدول مشبک نیاز داریم؛ ابعاد این مدول ،با ابعادی که قالب قطعه قرار است ساخته شود، می بایست متناسب باشد(شکل16-a). در این قسمت به طور دقیق ابعاد این مدول را عنوان نمی کنیم زیرا ابعاد قالب هر قطعه بستگی به عواملی چون تجهیزات کارگاه ،ابعاد ماشین آلات ، مصالح مورد استفاده دارد ؛ و همچنین با توجه به ابعاد دستگاه برش cnc 370*190 cm)) طبعا ابعاد قالب می باست کوچک تر از ابعاد دستگاه باشد(www.dastgahelaser.ir). در نتیجه در این مقاله، قصد ورود به این مباحث نیست.

حال، کل پوسته را در جهت y (صفحه x,z) ،از مدول مشبک عبور می دهیم. در واقع با این عمل ما قطعات مستطیل شکلی بدست آورده ایم که در دو جهت، تصویر آن بر صفحات مختصاتی z و xبه حالت معلوم درمی آید(شکل16-b)؛ و طبق نام گذاری هریک در درون دستگاه مختصات ، هرقطعه دارای آدرس مشخصی می باشد(شکل16-c). همچنین هر قطعه پس از تجزیه شدن از پوسته ی کلی ، در درون دستگاه مختصاتی خاص خودش قرار می گیرد که از نظر محور، با دستگاه مختصات اصلی، منطبق است. حال به طور نمونه قطعه fn را ، به طور جداگانه پرداخت می نماییم(شکل16-d).



شکل۱۶. عبور دادن پوسته از مدول مشبک(منبع:نگارنده)

قطعه fn (ب طور مثال یک قطعه از پوسته) ،در دو جهت x و z دارای ابعاد مشخص است ،در نتیجه ابعاد قالب قطعه، طول و ارتفاع مشخصی دارد؛ اما این قطعه یک قطاع از پوسته منحنی ما می باشد که انحنای آن هیچ قاعده ای ندارد و یا به عبارتی تمام نقاط در فضا در جهت محور y مدام در حال تغییر است. با چرخاندن ۹۰ درجه‌ای این پوسته در دستگاه مختصاتی، این نقاط متغیر را بر روی زمین (صفحه x,y) تصویر می‌کنیم (شکل۱۷).



شکل ۱۷. چرخش قطعهfn به سمت صفحه x,y
(منبع: نگارنده)

حال که قطعه مورد نظر، تصویرش بر روی صفحه x، y مشخص شد، می توانیم به دو روش انحنای نا مشخص قطعه را در واقعیت بسازیم، تا مسیر ساخت قالب برای قطعه میسر شود. در روش اول (شکل۱۸) در تصویر x,y شبکه ای برای ستونک ها تعیین می نماییم ، هر نقطه از این شبکه از سطح کف تا جایی که از قطعه عبور نماید دارای ارتفاع معینی است که مجموع این نقاط با ارتفاع‌های متفاوت در کنار هم، سطح منحنی مورد نظر را تشکیل می دهند. ارتفاع ستونک های مورد نظر متناسب با ابعاد یک میز کار یا تجهیزات کارگاه مورد نظر می تواند با نظر مجری تعیین گردد و همچنین هرچه فاصله بین آنها دارای ابعاد کم تری باشد ، قطعا انحنای مورد نظر با دقت بیشتری حاصل می شود. در روش دوم(شکل۱۹) قطعه و امتدادهای تصویرش در راستای طولی طبق یک اندازه معین (اندازه‌ای که طبق نظر طراح و مجری تعیین می شود) با صفحات عمودی ، برش خورده و فصل مشترک هر صفحه با نقاط روی منحنی ،یک تصویر مسطح با انحنای مشخص را شکل می دهد؛ که هر کدام از این صفحات وقتی در کنار هم در مختصات معین خود قرار می گیرند، انحنای مورد نظر حاصل می شود.

با توجه به اینکه این روش (روش دوم) تجزیه، از لحاظ ساختار مدول مشبک ، همیشه ثابت است می توان اثبات کرد که برای انواع مختلف منحنی های فرم آزاد می تواند مورد استفاده قرار گیرد؛ در نتیجه جامع و فراگیر بودن روش محرز است(شکل۲۰)

۴. مرحله شکل گیری مدل مجازی پرداخت شده به ابعاد واقعی

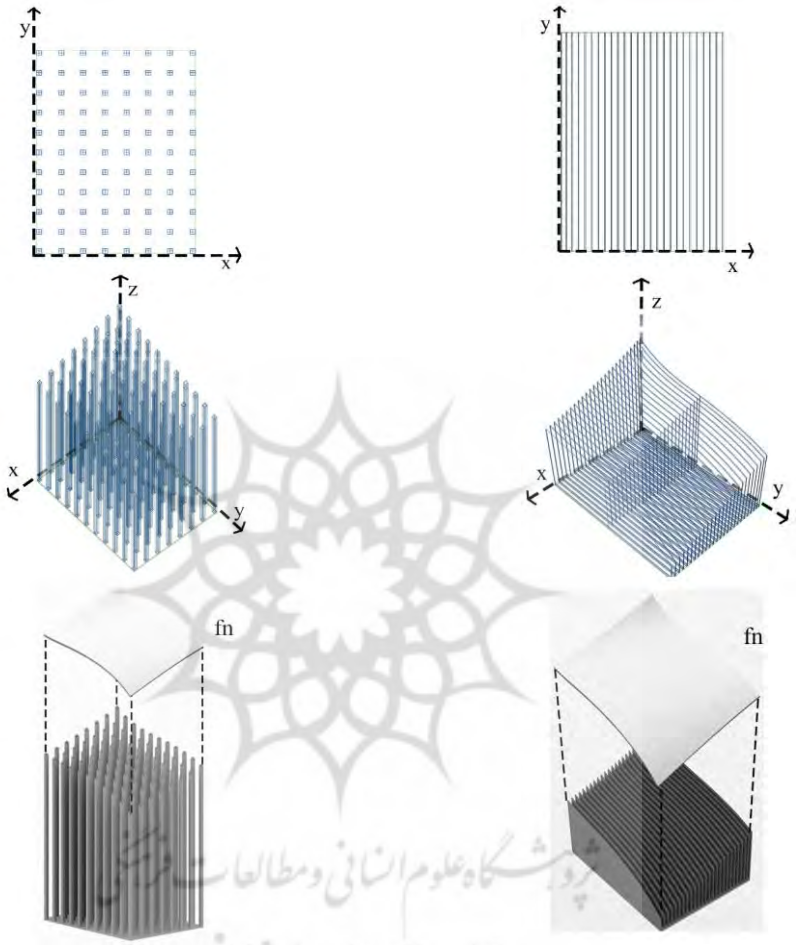
حالا که انحنای مورد نظر در ابعاد واقعی حاصل شد می توان طبق مشخصاتی که در دو روش موجود می باشد اقدام به ساخت قالب قطعه کرد؛ و تمامی قطعات را طبق نام گذاری مشخص و آدرس مشخصی که در دستگاه مختصاتی موجود است می توان به محل برد و در آنجا نصب کرد. هر دو روش دارای مزایایی می باشند.

در روش اول(شکل۱۸)، طبعا به علت آن که نحوه گسترش ستونک ها از دو طرف می باشد(شطرنجی)، دقت پرداخت شدن منحنی بیشتر از روش دوم است. در روش دوم(شکل۱۹) از آن جا که قطعات در یک بعد (یعنی در یک محور) هستند اجرا سریعتر و راحت تر از روش اول صورت می گیرد. حال به طور آزمایشی در کارگاه، اقدام به پرداخت یک قالب قطعه به روش دوم اقدام می

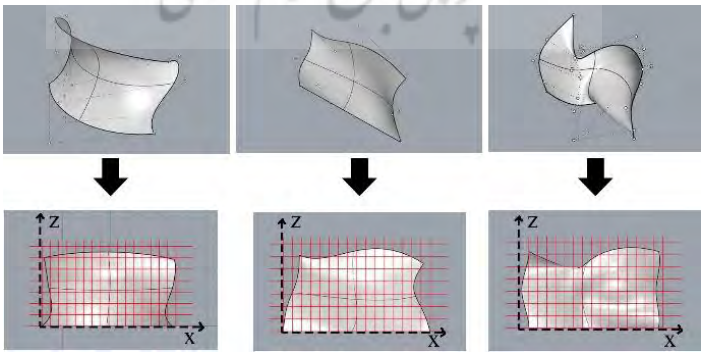
نماییم. پس از آن که تمام اسلایس های مسطح در شکل ۱۹ ،که در لبه ی فوقانی دارای انحنا هستند را در نرم افزار rhino به ترتیب قرار داده ایم را، با دستگاه cnc با دقت بسیار بالا برش می‌دهیم(شکل ۲۱).

دستگاه های برش تحت کنترل کامپیوتر(cnc) ، دارای دقتی بین یک تا صد میکرون می‌باشد(www.owensind.com) . پس از برش قطعات، هر قطعه طبق نقشه در کنار هم با اتصالات قرار می گیرد و قالب قطعه ی مورد نظر آماده می شود (شکل۲۲). پس از آن که قالب قطعه ساخته می شود با توجه به مصالحی که برای قطعه مورد نظر تعین شده است ، ماده مورد نظر یا بطور جامد با دستگاه وکیوم(مکش) یا به صورت مایع به شکل casting بر قالب سوار می شود.[1]

روش اول: **روش دوم:**

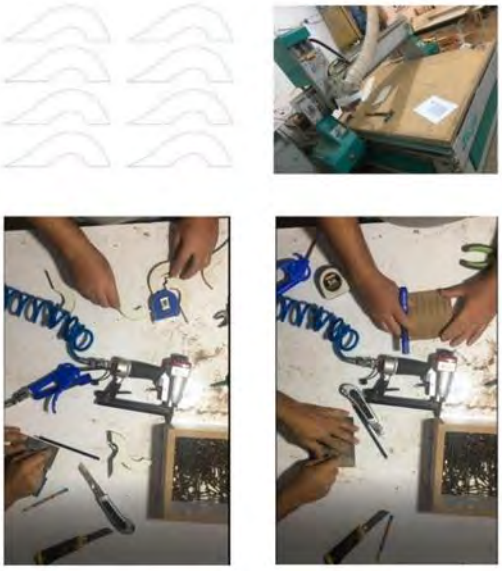


شکل ۱۸. روش اول (منبع: نگارنده) **شکل ۱۹. روش دوم (منبع: نگارنده)**

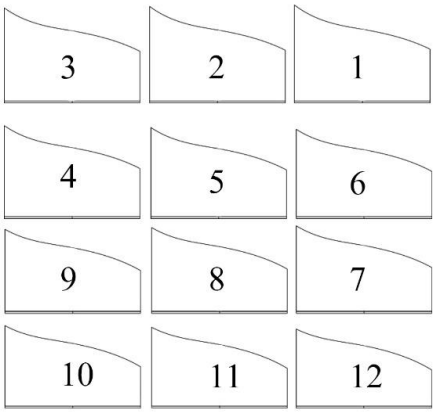


شکل ۲۰. اعمال مکانیسم تجزیه بر انواع منحنی های فرم آزاد(منبع: نگارنده)

(1 Micron: .000039”-100)
(100 Microns: .003937”)



شکل۲۲. ساخت قالب قطعه (منبع: نگارنده)



شکل۲۱. اسلایس های چیده شده،روش دوم (منبع: نگارنده)

۵. نتیجه گیری

نمای ساختمان از مهمترین بخش های کالبدی یک معماری است؛ که علاوه بر بحث هویت، سبب جذابیت های شهری شده و در رکاب انواع کاربری ها ظاهر می گردد. نماهای غیر متعارف ساختمانی در این اینجا شاید ابزاری در خدمت این بحث باشد. در پژوهش حاضر مراحل تجزیه یک پوسته(نما)ی منحنی کاملا بی قاعده به روش هندسی ارایه گشته است که دارای قابلیت درک بسیار راحتی است. در نهایت می توان نقاط قوت این پروسه تجزیه را بدین شرح توضیح داد:

- مبتنی بودن فرآیند تجزیه بر اصول ساده ی هندسی و قابلیت درک بسیار آسان
- سرعت زیاد فرآیند تجزیه به سبب استفاده از نرم افزار رایانه ای
- دقت بسیار زیاد در نتیجه قرارگیری فرآیند تجزیه در نرم افزار مدل سازی سه بعدی(rhino)
- امکان مدیریت فرآیند و اعمال هر تغییر در هر قسمت فرآیند
- ساخت منحنی فرم آزاد به طور ذاتا منحنی در مقابل ساخت منحنی به طور انتزاعی به روش پانل های مسطح mesh

منابع

۱. فاطمه مصطفی پور و همکاران، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری، مدیریت بحران
۲. مهناز محمودی زرندی،مریم صبوری، تحلیل عوامل موثر در آسیب پذیری نماهای شهر تهران با رویکرد پدافند غیر عامل با بهره گیری از ahp و gis
۳. حمید ابهری ؛ فریبا محمد پور، اولین همایش ملی اندیشه ها و فناوری های نو در معماری، طراحی پوشش آزاد به روش الگوریتمی
4. Martijn Veltkamp , Free Form Structural Design: Schemes, systems and prototypes of structures for irregular shaped buildings
5. Seunghyun Son , Heni Fitriani , Mathematical Algotithms of Patterns for free-Form Panels, 2017
6. J. Puig-Pey , A.Galvez , Helical Curves on Surfaces for Computer-aided Geometric Design and Manufacturing
7. Jim chung, Toronto centre , Cosmic Contemplations: A simple, portable Geodesic-dome Observatory
8. Wei, L-Y, and Levoy, M, 2000. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization.
9. Andre Borrmann, Markus Konig, Building information Modeling; Technology Foundation and industry Practice
10. Francisco Gonzalez-Quintial, Javier Barrallo , Freeform surfaces adaptation using developable strips and planar quadrilateral facets