1th.Miaad University National Conference on
Civil Engineering , Architecture

۱۵-December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

سیر تحول کاربرد هندسه در طراحی فرم بهینه سازه

اعظم احمدی[۱]*، احسان حیدری زادی[۲]، رؤیا پرورده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری، مؤسسه آموزش عالی رسام، کرج، ایران. Teacher1_2012@yahoo.com
۲- دکترای معماری و استاد مدعو، مؤسسه آموزش عالی رسام، کرج، ایران. Ehsan.heidarizadi@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری، مؤسسه آموزش عالی رسام، کرج، ایران. Roya.p@gmail.com

چکیده

کاربرد هندسه در آثار معماری گذشته به ویژه آنهایی که بیانگر تمدن های عظیم بشری هستند از عمق و اهمیت زیادی برخوردار بوده است. در بسیاری از آثار معماری گذشته می توان نمونه های موفقی از کاربرد هندسه در طراحی فرم بهینه سازه را مشاهده کرد. گر چه کاربرد هندسه و ایستایی ترسیمی، به صورت موفقیت آمیزی، در کار مهندسی، به کار می رفت ، محبوبیت آن، زیاد، طول نکشید؛ از ۱۹۲۰ میلادی، روش های ترسیمی بدلیل سختی ترسیم و وقت گیر بودن، توسط تئوری الاستیسیته که راه حل های تحلیلی مناسبی، فراهم می نمود و به چنان مهارت های ترسیمی، نیاز نداشت، جایگزین گردیدند، اما در عصر حاضر و باتوجه به امکانات ترسیم و طراحی که رایانه در اختیار ما قرار می دهد، می توان روش هندسی طراحی سازه ها را بصورتی پیشرفته تر(سه بعدی) توسعه داد.

در پژوهش حاضر،کاربرد هندسه در طراحی فرم سازه و در معماری بنا از گذشته تا اکنون اجمالاً مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً جنبه هایی از این کاربردها که به مدد ورود رایانه ها به حوزه طراحی، امکان توسعه یافته اند، تبیین شده است.

واژه‌های کلیدی: ایستایی گرافیکی سه بعدی، فرم یابی، هندسه، معماری دیجیتال

۱- مقدمه

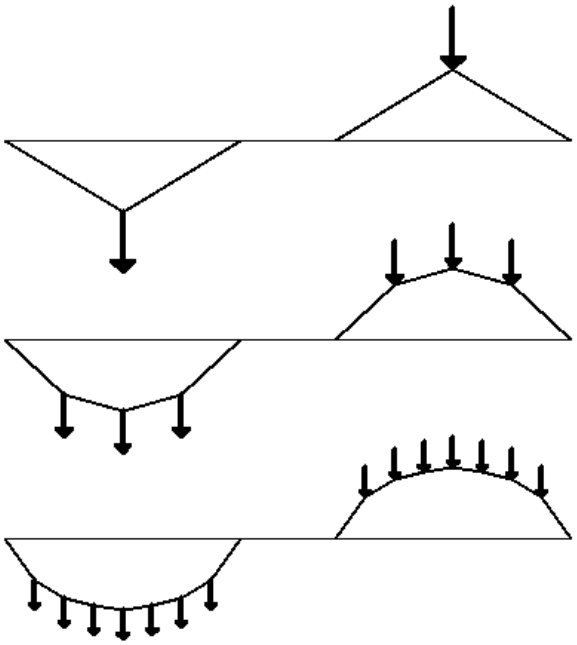
بهینه سازی سازه در طبیعت و در ساختارهای عناصر طبیعی به بهترین شکل دیده می شود. طبیعت سازه های خود را بگونه ای طراحی کرده که بتواند با صرف حداقل مصالح سازه ای به حداکثراستحکام برسد.(رضائی، ۱۳۹۴). بررسی سازه ای بدن انسان، نشانگر دقت نظر پیچیده ای است که در این آفریده الهی موجود است. محل قرار گیری تار خنثی به اسکلت فقرات و کنترل نیروهای فشاری از یک سو و کنترل نیروی حاصل از کنسول شدن سر و قفسه سینه، به صورتی کاملاً حساب شده، شکل گرفته است.

در مورد درختان نیز، وضعیت مشابه است. ساختار کلی درخت، همانند سیستم هسته مرکزی در ساختمان های بلند عمل می کند. میزان و تعداد کنسول ها در درختان بسیار زیاد است با وجود این، رفتار سازه در مقابل نیروی حاصل از فشار باد در این پدیده شگفت آور است.

بهینه سازی علاوه بر طبیعت، در آثار معماری کهن و ارزشمند جهان نیز دیده می شود. در شاهکارهای بجا مانده از معماری سنتی ایران نظیر گنبد سلطانیه و گنبد مسجد شیخ لطف الله استفاده از طاق و گنبد را می توان نمونه ای از فرم های

بهینه سازه در نظر گرفت، چراکه هندسه خاص این نوع سازه باعث محدود شدن تنش ها به تنش های فشاری شده و در نتیجه با صرف حداقل مصالح، استحکام قابل قبولی داشته اند.

در آثار گائودی می توان نمونه های موفقی از کاربرد هندسه در طراحی فرم بهینه سازه را مشاهده کرد. از جمله در کلیسای خانواده مقدس در بارسلون که شکل ایده ال قوس را از برگرداندن چندضلعی طنابی کششی سهموی تحت همان بار بدست آورد، بطوریکه در این نوع قوس ها فقط نیروی فشاری ایجاد می شود (شکل۱).

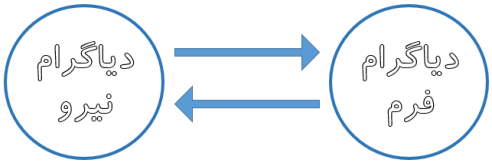


شکل۱: قوس فشاری برگرفته از منحنی طنابی(منبع: [۱۱])

بطور کلی روش های هندسی طراحی سازه یکی از تکنیک های طراحی و تولید فرم می باشد که در دوره ماقبل ابزارهای دیجیتال بنیانگذاری شدند و استفاده از آنها تا به امروز ادامه دارد. یکی از معروف ترین این روش ها استاتیک ترسیمی یا هندسی است که بر اساس وابستگی هندسی بین فرم سازه و نمودار نیروهای موجود در سیستم پایه‌ریزی شده است.

در روش ایستایی ترسیمی، هندسه سازه با دیاگرام «فرم»، و تعادل و شدت نیروها با دیاگرام «نیرو» ارائه می‌شوند. هردوی این دیاگرام‌ها مشخصات و خصوصیات هندسی خاصی دارند، بنابراین درک تعادل نیروها و کنترل هندسه سازه در مقایسه با سایر روش‌ها برای طراحانی که دانش سازه‌ای ندارند، ساده‌تر است.

علاوه بر این، از آنجایی که تغییر در هر دیاگرام اثرات مستقیم و قابل مشاهده در دیاگرام دیگر دارد، در این روش طراح کنترل بیشتری بر میزان و نحوه اثر نیروهای داخلی و فرم نهایی سازه دارد. این خاصیت وابستگی دوگانه و رابطه رفت و برگشتی، ایستایی ترسیمی را به یکی از محبوب‌ترین روش‌های طراحی بر اساس رفتار سازه‌ای در دنیا تبدیل کرده است. علاوه بر این، چون دیاگرام نیروها بر اساس اصول هندسی است، با بهینه کردن طول اعضا در دیاگرام نیرو، میزان نیرو در اعضای داخلی سازه و در نتیجه فرم هندسی سازه هم بهینه خواهد شد (Akbarzadeh M, 2015).

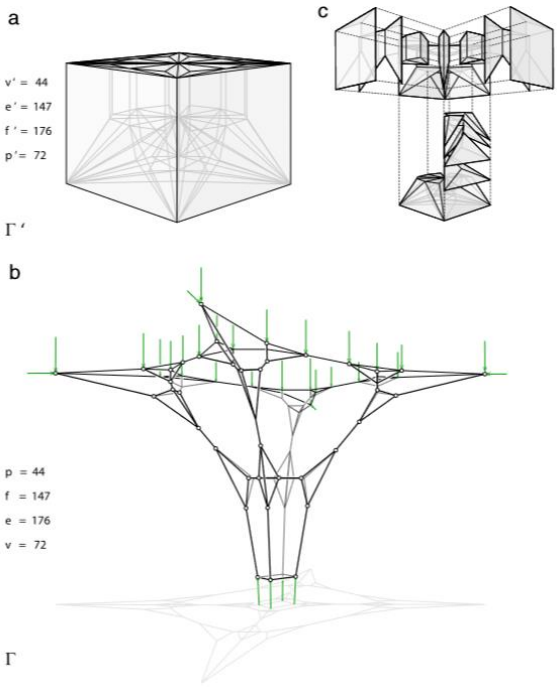


شکل۲: رابطه رفت و برگشتی دیاگرام فرم و دیاگرام نیرو(منبع: نگارنده)

روش هندسی موجود در طراحی سازه‌ها (Graphical Statics) روشی دو بعدیست که در طول ۱۵۰ ساله گذشته توسط بسیاری از معماران و مهندسانِ بزرگ دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از مشکلات آن این است که این علم بر پایه روش های دو بعدی بنا شده که با محدودیت های بسیاری در طراحی سه بعدی سازه‌ها مواجه است. (Akbarzadeh M, ۲۰۱۵)

رابطه هندسی بین فرم سازه ها و نیروها در سه بعد، برای اولین بار توسط رانکین (Rankine) در سال ۱۸۶۵ در یک مقاله کوتاه (نیم صفحه) ارائه شد. در همان سال، مکسول (Maxwell) روشی هندسی برای پیشبرد پیشنهاد رانکین ارائه کرد. اما به دلیل عدم وجود ابزارهای محاسباتی لازم مانند کامپیوتر در آن زمان، تحقیقات بیشتر برای توسعه و بسط این روش در بعد سوم ادامه پیدا نکرد و این روش تنها به صورت دو بعدی گسترش داده شد. اما در عصر حاضر و باتوجه به امکانات طراحی که رایانه در اختیار ما قرار می دهد، می توان روش هندسی طراحی سازه ها را بصورت سه بعدی انجام داد.

در سال های اخیر، پیشرفت های علم مهندسی کامپیوتر قدرت بی‌سابقه ای را برای معماران در طراحی و ارائه فرم های پیچیده معماری در فضای سه بعدی فراهم نموده است (Akbarzadeh M, 2015) که در صورت تلفیق با شیوه طراحی گرافیکی استاتیکی(تحلیل ترسیمی) سه بعدی انتظار می رود منجر به ایجاد فرم های معمارانه و در عین حال بهینه به لحاظ سازه ای گردد.



شکل۳: دیاگرام فرم و دیاگرام نیرو(منبع: [۱۵])

در این مقاله ابتدا به مرور نقش هندسه در معماری ایران و جهان بطور خلاصه پرداخته شده و سپس روندی را که تحلیل ترسیمی و هندسی از گذشته تا اکنون طی نموده بطور اجمالی مورد اشاره قرار داده و نهایتاً تلفیق این روش ها با کاربرد رایانه در طراحی مورد بحث قرار گرفته است.

۲- هندسه در معماری ایران

هندسه مند بودن یک اثر یکی ازبارزترین ویژگیهایی است که برای این که اثردرگذرزمان رو به زوال نرود از بدو خلق باید داشته باشد تا بتواند طی هزاره ها در یادها و خاطره ها به عنوان یک اثرماندگار جاودانه شود. هندسه با خاصیت معجزه آسای خود درطبیعت و اثار مصنوع زیبایی خلق می کند. (محمدی،۱۳۹۴)

پیدایش هر اثر معماری بر ارکانی استوار است؛ فرم، عملکرد، تکنولوژی و محتوا را می توان از ارکان معماری محسوب نمود که هر یک در پیدایش اثر نقشی را ایفا می نماید؛ فرم را به شکل و هندسه و زیبایی بنا ، عملکرد را به کارایی و بهره گیری از فضا ، محتوا را به هویت و مبانی نظری اثر اطلاق می نمایند.(قربانی ،۱۳۹۴)

معماری از دیرباز در پی خلق فضاهایی بوده است که علاوه بر زیبایی، کارایی و استحکام، بتواند با کاربرانش ارتباط برقرار سازد. هندسه و تناسبات ابزاری بوده اند که معماران را در دستیابی به این مهم، یاری نمودند.(نوبخت، ۱۳۹۴)

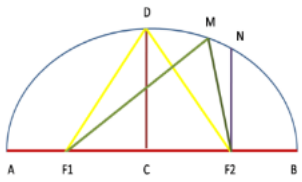
کاربرد هندسه در آثار معماری گذشته به ویژه آنهایی که بیانگر تمدنهای عظیم بشری هستند از عمق و اهمیت زیادی برخوردار بوده است.

بناهای عظیم و ماندگار دوران گذشته، خود را مقید به هندسه مطلق نموده و به خاطر رعایت جنبه های نظم (به ویژه تقارن)، بسیاری از بناهای دیگر معماری را پشت سر گذاشته اند.

حمیدرضا فرشچی در پژوهشی تحت عنوان استفاده از دانش هندسه در هنر معماری و سازه به بررسی پیشینه کاربرد هندسه در معماری ایران پرداخته است. براساس یافته های او بهره گیری از دستگاه تناسبات و پیمون بندی در آثار معماری هخامنشی و ساسانی مرسوم بوده است واین تناسبات در معماری پس از اسلام نیز رواج یافتند.(نقره کار، ۱۳۸۷)

شکل۴(منبع: [۸])

فاطمه مهدی زاده سراج در مقاله ای با عنوان بکارگیری مثلث های هنجار در محاسبات ریاضی و پیاده سازی هندسه در ساخت و اجرای معماری سنتی ایران به کارکرد مثلث هنجار در معماری سنتی ایران پرداخته و ضمن بررسی ساختار، روابط موجود در مثلث هنجار و مزایای استفاده از مثلث هنجار، شیوه علمی و عملی کار با این مثلث را بیان می کند.

نام بخش	نشانه	نام بخش	نشانه	شکل
پایه (کانون)	F1,F2	راسته (هج)	F2n	
دوال	AB	دیرک	CD	
پادیر	F1N	میان کش	F1F2	
هنجار	MF1+MF2	ماهار (دوبند)	F1D=F2D	
پیمانه	AF1=F2B			

شکل۵: مثلث های هنجار(منبع: [۱۳])

علیرضا تقدیری(۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان روش های کاربردی سبک سازی سیستم های سازه ای براساس تحلیل سازه های سنتی ایران ضمن انتخاب نمونه های برجسته ای از معماری سنتی ایران، فرآیند ارتقای این آثار از دیدگاه کارآیی و سبک سازی سازه ای را مورد تحلیل قرار داده و روش ها و اصول عملی و کاربردی سبک سازی کالبد ساختمان را استخراج کرده است. بر اساس این تحلیل، مدنظر قرار دادن طراحی بهینه هندسه انتقال بار سیستم سازه ای در اجزای سازه ای و علاوه بر آن در ترکیب و انتخاب ابعاد، تناسبات، فرم ها و راستای قرارگیری بهینه آنها نیز می تواند دستیابی به کارآیی حداکثر مصالح در تحمل و انتقال بارها و تنش ها را در بر داشته باشد

مهدی فرشاد در کتاب فرم های ساختمانی، ضمن بحث درباره فرم و انواع آن، به مفاهیم و تعاریف کلی فرم های ساختمانی و ضوابطی برای ارزیابی آنها پرداخته، سیر تکاملی فرم های ساختمانی و چگونگی دست یافتن به فرم های کامل یا بهینه را مورد اشاره قرار می دهد. فرشاد به ابعاد مختلف سازه و طراحی آن و گونه ای از طبقه بندی فرم های سازه ای براساس هندسه و فیزیک پرداخته و با بیانی ساده، مفاهیم اولیه سازه ای و انواع نیروها را تعریف می کند.(فرشاد، ۱۳۵۳)

جمال الدین حسینی (۱۳۹۰) در مقاله ای با عنوان سازه تعیین کننده فرم در معماری به بررسی ویژگی های سازه های نوین پرداخته است. بر اساس این تحقیق: توسعه ی دنیای مدرن تقاضا برای استفاده از سازه هایی با دهانه بزرگ را افزایش داد با وقوع انقلاب صنعتی، تولید آهن و سپس فولاد گسترش یافت و تولید مصالح با مقاومت زیاد ساخت بناهایی با ارتفاع بیشتر و دهانه های وسیعتر را امکان پذیر ساخت. ابتدا مجموعه ای از خرپاهای متنوع شکل گرفت و در مراحل بعد سازه های مشبک فضایی سه بعدی به وجود آمدند از جمله مزایای سازه های فضایی می توان به اجزای مدولار تقسیم بار، آزادی درانتخاب محل تکیه گاه ها، هندسه منظم و ... اشاره کرد بسیاری از فرمهای سازه ای به ویژه اغلب شبکه های فضایی از مدول هایی تشکیل شده اند.

با توجه به پیشینه قوی کاربرد هندسه و تحلیل های هندسی در طراحی فرم های معماری از یک سو و نیز پیشرفت نرم افزارهای رایانه ای در زمینه طراحی و فرم یابی های بهینه از سوی دیگر، شاهد ظهور روش های تحلیل ترسیمی استاتیکی بصورت سه بعدی هستیم که به سرعت توسعه خواهند یافت.

از جمله پژوهش های انجام شده در زمینه ایستایی ترسیمی سه بعدی در ایران میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- گروه اداپت توسط تعدادی از معماران جوان و دانشجویان معماری با هدف فعالیت های پژوهشی و نوین در معماری و ساخت شکل گرفت. یکی از اهداف این گروه عبور از پروتوتایپ ها و نزدیک شدن به جریان واقعی معماری و سازه است .فبریکیت اولین پروژه این گروه است که پژوهشی است بر ساخت طاق های با فرم آزاد کاملا فشاری که فرم یابی آن به صورت دیجیتال و با کمک نرم افزار راینو والت انجام می گیرد. سازه های سنتی

طاق و گنبد به دلیل هندسه خاص که در طراحی آن ها شکل می گرفت، سالها پا برجا بوده و ایستایی آن مبتنی بر فرم متقارن آن بود. با پژوهش های نوینی که در زمینه طاق ها و سازه های فشاری انجام شده و به کمک رایانه و نرم افزار های جدید نظیر راینو والت می توان سازه هایی طراحی نمود که ایستایی آن ها مستلزم یک هندسه متقارن نیست و اصطلاحا سازه ای با فرم آزاد نامیده می شود.(این نرم افزار که یک پلاگین برای نرم افزار راینو می باشد توسط گروه تحقیقاتی بلاک (BRG) در دانشگاه ETH زوریخ نوشته شده است. با استفاده از راینووالت می توان به فرم هایی دست یافت که از نظر انتقال نیروی فشاری در بهینه ترین حالت قرار دارند و می توان این فرم ها را با مصالحی مانند سنگ و آجر که مقاومت کششی ندارند، اجرا نمود. نرم افزار راینو والت (RhinoVault) بر اساس تئوری زنجیر معکوس آنتونی گائودی کار می کند و فرم هایی را ایجاد می کند که تمام نیرو ها در آن فشاری بوده و هیچگونه تنش کششی در فرم ایجاد نشود. (شکل۶)

شکل۶

- مهراد مه نیا و مسعود اکبرزاده در قالب یک کارگاه عملی آموزشی با کمک تعدادی از دانشجویان علاقه مند در قالب یک تیم اقدام به طراحی و ساخت سازه بتنی فشاری با روش ایستایی ترسیمی سه بعدی □□□□□□□ □۳) (Static نمودند که آنالیز سازه ای آن با نرم افزار تحلیل سازه ای المان محدود بنام Karamba انجام شد.(شکل۷)

شکل ۷

۳- تأثیر هندسه در فرم معماری جهان:

یونانیان هندسه و تناسبات را از مصریان الگو گرفتند و در زمان درخشش تمدن یونانی در سده پنجم قبل از میلاد، آن را به اوج رساندند. تناسبات آنها از این فرضیه فیثاغورث که می گوید: «همه چیز عدد است» و از این باور که برخی نسبت های عددی نمایانگر ساختار هماهنگ جهان هستند، سرچشمه می گرفت. کاربرد این تناسبات در بسیاری از بناها ازجمله معبد پارتنون کاملاً مشهود است. [۸]

قانون «تقسیمات طلایی » درقرن سوم قبل از میلاد ، توسط اقلیدس فیلسوف وریاضیدان برجسته یونانی کشف شد .این قانون توسط هنرمندان یونانی وسپس هنرمندان دوره رنسانس درقرن پانزدهم وشانزدهم مورد استفاده قرارمی گرفت وبعداز آن نیز در آکادمی ها ومراکز آموزش هنر، به عنوان قانون رسمی در مورد ایجاد تناسبات زیبا پذیرفته شد.

کاربرد این تناسبات تا سده های میانه دنبال شد ولی در شیوه معماری گوتیک بار دیگر با تلاش معماران ارزشمندی چون برونسلکی، آلبرتی و دیگران جایگاه گذشته را بدست آورد و از آن فراتر رفت. [۸]

در دوران رنسانس ، نقاشان بزرگ ، ریاضی دان هم بودند . آلبرتی نخستین نیاز نقاش را هندسه می دانست. نقاشان و هنرمندان برای جان دادن به تصویر ها و القای فضای سه بعدی به آثار خود ، به ریاضیات روی آ ورند . بنابراین همه ی نقاشان دوره رنسانس نظیر آلبرتی ، دیودر ، لئوناردو داوینچی ، ریاضی دانان هنرمند یا هنرمندانی ریاضی دان بودند.

با اینکه در روزگار مدرنیسم بنیادهای معماری کلاسیک کم اعتبار شد ولی معماران بزرگی چون لوکوربوزیه و رایت در سده بیستم در زمینه تناسبات و پیمون بندی کارهای قابل توجهی انجام دادند. [۸]

در معماری معاصر به مانند گذشته هندسه نقش بسزایی دارد. ازجمله استفاده تناسبات خاص، هندسه ارگانیک، فراکتال و ... در طراحی معماری و سازه استفاده شده است.

در معماری مدرن هندسه به نوعی با استفاده از هندسه اقلیدسی و خطی شکل گرفته است، اما اکنون برای رفع بسیاری از کمبودهای معماری مدرن توجه بیشتری به هندسه فراکتال و ارگانیک به لبه های خمیده و پرپیچ و خم شده است.

۴- تحلیل هندسی سازه و ایستایی ترسیمی:

در بحث تحلیل سازه ، همزمان، باتوسعهٔ روشهای پیچیدهٔ عددی، روش تحلیلی دیگر، یعنی، تحلیل خط فشار، با ماهیت هندسی، در طی زمان، گسترش یافته، که فرزین ایزدپناه در مقاله ای تحت عنوان « تحلیل خط فشار: پیشینه و دستاوردهای جدید»، به بررسی پیشینه، مبانی و رهیافتهای جدید این روش تحلیل سازه، می پردازد. طبق یافته های او:

« دانش تحلیل سازه ، بر اساس مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، در گذشتهٔ دور، بیشتر به صورت تناسبات هندسی بوده است.

لئو ناردو داوینچی از نخستین کسانی بود که به بررسی قوسها پرداخت. وی تشخیص داد که نیرو، مسیر مشخصی را در قوس، طی می کند. وی این مسیر را در قوس سهمی، تشخیص داده بود(Lourenço,2001).

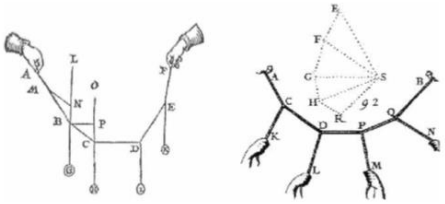
بیشترین تمرکز مطالعهٔ مسیر نیروها در قوس، در دورهٔ رنسانس، نه بر تحلیل سازه که بر طراحی گنبدها بود.

رابرت هوک(۱۶۳۵-۱۷۰۳) نخستین بار، نظریهٔ منحنی زنجیره ای را مستند نمود، که در عمل، باعث شد این نظریه، به نام وی ثبت گردد. در همین زمان، او مفهوم الاستیسیته را ارائه نمود که بعدها، بر جهان سازه، سیطره پیدا کرد. رابرت هوک،

ارتباط بین یک زنجیر آویخته که تحت کشش بر اثر وزن خودش، شکل می گیرد و یک قوس تحت فشار را، توصیف کرد(Block,2006).

ریاضی دان آلمانی، سیمون استیونس (۱۶۲۰-۱۵۴۸) نخستین کسی بود که نیرو را به عنوان یک بردار، نشان داد(Allen,2010). او در۱۵۸۶ میلادی، کتابی در زمینهٔ ایستایی، منتشر کرد که به عنوان، مبنایی برای ایستایی ترسیمی، در قرن ۱۹ قرار گرفت(Lourenço,2001). در ۱۶۰۸، استیونس، تفسیر صحیحی از متوازی الاضلاع نیروها، ارائه کرد. با استفاده از مقدمهٔ قانون متوازی الاضلاع سیمون استیونس تعادل می تواند، به روش ترسیمی، با بکاربردن بردار نیروها و چند ضلعی بسته نیروها ،مورد بررسی قرار گیرد(Block,2006). این بحث، آغازی بر تحلیل مبتنی بر تعادل، برای سیستم های سازه بود و همچنین، آغاز روش های ترسیمی.

اکنون، توضیح دادن نتایج تجربی، مانند وزنه های آویخته ازطناب، و محاسبه نیروهای طناب با استفاده از روش های ترسیمی جدید، امکان پذیر بود(Block,2006).



شکل۸ (منبع: [۱])

در۱۷۸۴، پولنی، با تحلیل ترسیمی، عملکرد سازه ایِ گنبد بنایی سنت پیتر رم را، بررسی‌کرد. پولنی با استفاده از ایدهٔ هوک، سازه ای تاریخی را تحلیل‌کرد، تا ایمنی گنبد ترک خوردهٔ سنت پیتر را، در رم ارزیابی کند(Block,2006). پولنی با استفاده از اصل زنجیر آویخته، نشان داد که گنبد، دارای ایمنی لازم است.

آنتونی گائودی (۱۸۵۲) که بنیادی ترین نمایش را از سر تا سر طبیعت در قالب فرمهای ساختمانی بیان می کرد، به بهترین شکل ممکن از منحنی طنابی در آثار معروف خود از جمله کلیسای خانواده مقدس بهره برده است.

کولمن (Culmann,1866) اولین فرد در مهندسی سازه بود، که تحلیل های ترسیمی را، بعنوان یک روش قدرتمند، برای تحلیل مبتنی بر تعادل، بصورت فرمول بیان نمود.(Block,2006) کتاب او پایه قوی نظری در ریاضیات، بویژه در هندسه کاربردی و اجرایی، داشت.

در اواخر قرن ۱۹ و آغاز قرن ۲۰، ایستایی ترسیمی، متداول ترین روش، برای تعیین تعادل سازه ها بود. بسیاری از خرپاها و پل های قوسی با مصالح بنایی، با استفاده از شیوه های ترسیمی محاسبه شدند و هنوز، بدون آسیب و شکست مهمی پابرجا مانده اند(Lévy,1888).

کتابهای دستی متعلق به آغاز قرن بیستم مانند ولف (Wolfe,1921)، ساختارهای گرافیکی را برای حل مشکلات سازه ای پیچیده، مورد استفاده قرار داده اند، درصورتی که با بکاربردن روش عددی، می بایست از معادله های دیفرانسیل درجه بالا، استفاده می گردید.

روش تحلیل خط فشار، دو مشکل دارد: نخست دشواری ترسیم و دوم، استاتیکی بودن آن. این مشکلات، با استفاده از نرم افزارهای رایانه ای، بر طرف شدند. اولین مشکل این روشها، دشواری ترسیمها و نیاز به باز ترسیم دوباره و دوباره آنها بود. این

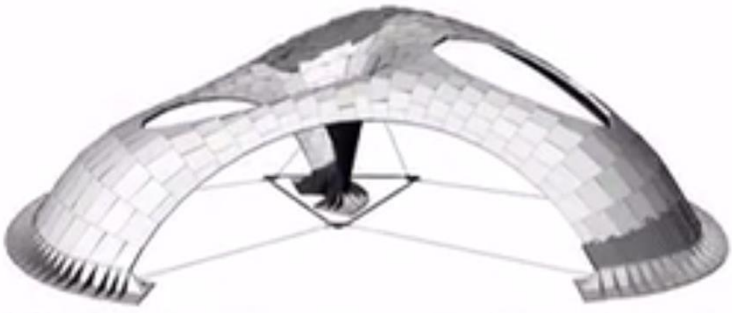
شیوه برای تحلیل سازه های سه بعدی، هم به دلیل پیچیدگی چند ضلعی نیروها و هم سعی وخطای زیادی که برای دست یابی به راه حل قابل قبول، لازم است، سنگین و خسته کننده می شود نکته دیگر، انجام تحلیل در حالت استاتیکی می باشد وعدم توجه به حرکتها و تغییر شکلهای سازه که منجر به رفتار غیر خطی و تغییر مسیر نیرو در سازه می شود.

در سالهای اخیر نرم افزارهایی برای تحلیل خط فشار، مورد آزمون، قرار گرفته اند.»

مسعود اکبرزاده (Akbarzadeh M, 2015) موفق به ارائه طرحی جدید در طراحی هندسی سازه شده تا با استفاده از روش های هندسی و بدون نیاز به محاسبات جبری، فرم های سه بعدی پیچیده با قابلیت سازه ای تولید شوند. پژوهش اکبرزاده بر هندسه سه بعدی متمرکز است. تحقیقات وی، ارتباط هندسی بین فرم سازه و نیروها را در بعد سوم شفاف می سازد و در نتیجه، علم طراحی هندسی سازه‌ها را در بعد سوم، ۱۵۰ سال پس از پیدایشش توسعه می دهد.

از جمله پژوهش های انجام شده در زمینه ایستایی ترسیمی سه بعدی ، میتوان به موارد زیر اشاره کرد.

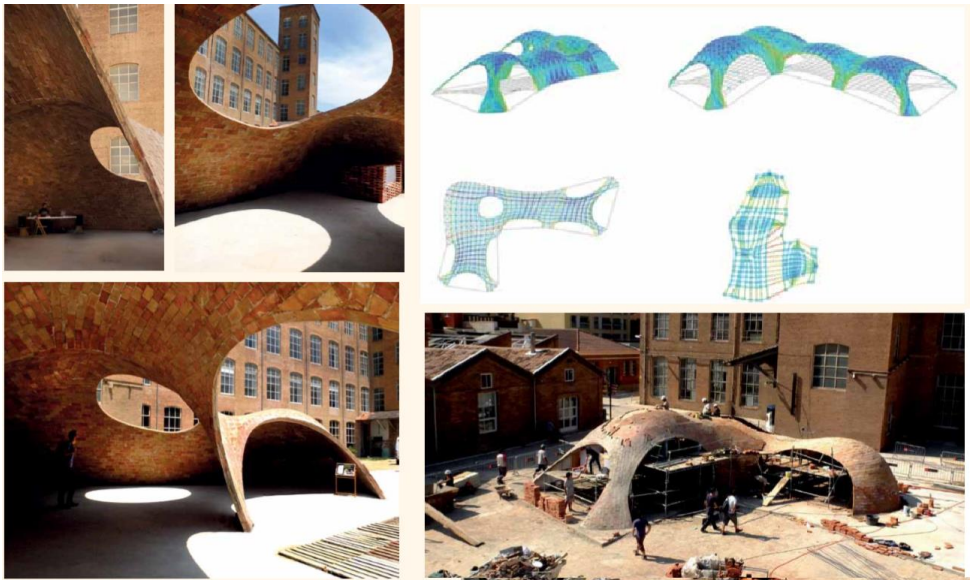
- گروه تحقیقاتی بلاک در دانشگاه زوریخ، یک واحد پیشرو تحقیقاتی در زمینه ساخت دیجیتالی معماری در جهان است. اساتید و پژوهشگران برجسته معماری دیجیتال در این واحد تحقیقاتی جدیدترین تکنولوژی های ساخت دیجیتالی را آزمایش کرده و توسعه می دهند. پلاگین RhinoVAULT از خروجی های تحقیقاتی این گروه است که هدف آن فرم یابی بهینه براساس آنالیز شبکه فشاری است. ایده ایجاد این نرم افزار، ایجاد مقاومت از طریق فرم و نه از طریق تجمع متریال است. تاق Armaddillo از نمونه پروژه های ساخته شده توسط گروه بلاک است که به کمک این پلاگین و بصورت فرم بهینه فشاری طراحی شده است.



شکل۹

- ریپمن(Rippmann,2012) و همکاران برای طراحی سازه های فشاری جدید با فرمهای خلاقانه، به بسط ابزارهای ترسیم یارانه ای، می پر دازند.
- در سالهای اخیر، پژوهشگران در M.I.T ، شیوه های ایستایی ترسیمی با تبادل دو سویه اطلاعات، خلق کرده اند که استفاده از شیوه های ترسیمی یارانه ای را، برای تحلیل سازه ها ، پیشنهاد می دهد.
- Bricktopia غرفه ای که توسط معماران بین المللی MAP13 اجرا شده است، پروژه ای پیشگام در جشنواره بین المللی معمار EME3 است که دربارسلونا برگزار می شود. این رخداد، میدان جدیدی را فراهم می کند که می تواند فعالیت های مختلفی را هم در غرفه و هم در اطراف آن جای دهد. فضاهای عمومی برای فصل تابستان در نظر گرفته شده است. ساختار خمره ای شکل آجری، ساختار سنتی گنبد قسمت بندی شده (یا گنبد کاتالانی) را که از ابزارهای دیجیتالی

جدید برای محاسبه ساختار بهینه هندسی آن استفاده گردیده است، به کار می گیرد. این طرح پیشنهادی حاصل تحقیق علمی است که توسط مارتا دومنک رودریگز ، دیوید لوپز لوپز و ماریانا پالومبو فرناندز که از بنیانگذاران MAP13 هستند با کمک اساتید مدارس معماری مختلف صورت گرفته است. این غرفه نمونه اولیه ای را که توسط فیلیپ بلاک، مانیاس ریپمن و لارا دیویس در ETH زوریخ ساخته شده ترسیم می کند و توسط آن، قابلیت پلاگینRhinoVAULT در طراحی گنبد، اثبات می شود. (نشریه آجر، نشریه داخلی آجرنسوز آگوراتی، شماره۳و۴، بهار و تابستان۱۳۹۴)



شکل۱۰(منبع: نشریه آجر، نشریه داخلی آجرنسوز آگوراتی، شماره۳و۴، بهار و تابستان۱۳۹۴)

- ادوارد آلن در کتاب فرم و نیرو ، همان گونه که از نام کتاب برمی آید، سعی دارد ضمن ساده سازی فرم های پیچیده معماری، تأثیر نیرو بر سازه و پخشایش نیروها در فرم را مطرح کند و در خلال آن، آشنایی مختصری با ضوابط اجرایی و استانداردهای مهندسی ایجاد نموده، نقش مواد و مصالح بر ایجاد فرم را بیان می کند. تأکید وی در این کتاب بر محاسبه نیروها، با بهره گیری از روش های ترسیمی است. وی می کوشد با طرح گفت و گوهایی بین دو متخصص سازه و معماری، زمینه تعامل آنها را در شکل گیری فرم از میان راه حل های سازه ای روشن سازد.

۵- نتیجه گیری

همانگونه که ذکر شد بهینه سازی علاوه بر طبیعت (از جمله فرم بدن انسان و فرم درختان و ...) ، در آثار معماری کهن و ارزشمند جهان نیز دیده می شود.

دانش تحلیل سازه ، بر اساس مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، در گذشتهٔ دور، بیشتر به صورت تناسبات هندسی بوده است.

در آثار گائودی از جمله در کلیسای خانواده مقدس در بارسلون می توان نمونه های موفقی از کاربرد هندسه در طراحی فرم بهینه سازه را مشاهده کرد.

در شاهکارهای بجا مانده از معماری سنتی ایران نظیر گنبد سلطانیه و گنبد مسجد شیخ لطف الله استفاده از طاق و گنبد را می توان نمونه ای از فرم های بهینه سازه در نظر گرفت، چراکه هندسه خاص این نوع سازه باعث محدود شدن تنش ها به تنش های فشاری شده و در نتیجه با صرف حداقل مصالح، استحکام قابل قبولی داشته اند.

در اواخر قرن ۱۹ و آغاز قرن ۲۰، ایستایی ترسیمی، متداول ترین روش، برای تعیین تعادل سازه ها بود. بسیاری از خرپاها و پل های قوسی با مصالح بنایی، با استفاده از شیوه های ترسیمی محاسبه شدند و هنوز، بدون آسیب و شکست مهمی پابرجا مانده اند.

با طرح تئوری الاستیسیته از سال ۱۹۲۰ تحلیل عددی سازه جایگزین تحلیل ترسیمی شد. اما از سال ۱۹۹۸ محققین به مدد امکاناتی که رایانه ها در اختیار بشر قرار داده اند، شیوه های جدیدی از کاربرد روش های ترسیمی را ارائه دادند. بازگشت مجدد به شیوه های هندسی و ترسیمی در تحلیل سازه ها، فرصت جدیدی را برای معماران فراهم می نماید تا با بهره گیری از دانش هندسه در ساماندهی مسیر حرکت نیروها و ترکیب آن با قابلیت های محاسباتی و ترسیماتی نرم افزارهای رایانه ای، به طراحی فرم های بهینه سازه ای بپردازند.

رابطه هندسی بین فرم سازه ها و نیروها در سه بعد، برای اولین بار توسط رانکین (Rankine) در سال ۱۸۶۵ در یک مقاله کوتاه (نیم صفحه) ارائه شد. در همان سال، مکسول (Maxwell) روشی هندسی برای پیشبرد پیشنهاد رانکین ارائه کرد. اما به دلیل عدم وجود ابزارهای محاسباتی لازم مانند کامپیوتر در آن زمان، تحقیقات بیشتر برای توسعه و بسط این روش در بعد سوم ادامه پیدا نکرد و این روش تنها به صورت دو بعدی گسترش داده شد. اما در عصر حاضر و باتوجه به امکانات طراحی که رایانه در اختیار ما قرار می دهد، می توان روش هندسی طراحی سازه ها را بصورت سه بعدی انجام داد.

۶- مراجع:

[۱] ایزدپناه، فرزین،۱۳۹۳، تحلیل خط فشار: پیشینه و دستاوردهای جدید، تبریز، همایش ملی معماری، عمران و توسعه ی نوین شهری.

[۲] تقدیری, علیرضا؛ جلیل اولیا و سارا قنبرزاده قمی، ۱۳۹۰، روش های کاربردی سبک سازی سیستم های سازه ای (براساس تحلیل سازه های سنتی ایران، دومین کنفرانس بین المللی معماری و سازه، تهران، دانشگاه تهران، قطب علمی فناوری معماری پردیس هنرهای زیبا.

[۳] خوشبخت ایردموسی, لاله و انسیه قربانی نیا، ۱۳۹۴، حکمت هندسه به کار رفته در مساجد با توجه به مفهوم قدر در قرآن، کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در علوم،مهندسی و فناوری با محوریت پژوهش‌های نیاز محور، مشهد، مؤسسه فراز اندیشان دانش بین الملل.

[۴] رضائی, مهناز و سید محمدرضا نصیرسلامی، ۱۳۹۴، نقش طبیعت در طراحی بهینه سازه ها با رویکرد معماری پایدار، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیرساخت های شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس.

[۵] رضا زاده اردبیلی، مجتبی و مجتبی ثابت فرد، ۱۳۹۱، بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری سنتی، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۱۸، شماره۱، بهار۱۳۹۲.

[۶] عالمی, بابک؛ شهرام پوردیهیمی و سعید مشایخ فریدنی، ۱۳۹۵، سازه، فرم و معماری، دو فصلنامه مطالعات معماری ایران ۱ (۹).

[۷] علینقی پور, مرتضی و علی مرجوعی، ۱۳۹۳، فرم یابی معماری با تکنیک های معماری دیجیتال، اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه.

[۸] فرشچی، حمیدرضا، ۱۳۹۰، استفاده از دانش هندسه در هنر مهندسی معماری و سازه، دومین کنفرانس بین المللی معماری و سازه، تهران، دانشگاه تهران، قطب علمی فناوری معماری پردیس هنرهای زیبا.

[۹] قربانی, مسلم و آرش صدری، ۱۳۹۴، تکنولوژی معماری، دومین کنگره علمی پژوهشی افق های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.

[۱۰] کبیرصابر، محمدباقر.۱۳۸۶. مفهوم پایداری در سازه های سنتی ایرانی؛ معماری دوره اسلامی. اولین کنفرانس سازه و معماری.

[۱۱] گلابچی، محمود و مهندس مجتبی امیری. ۱۳۹۵. عناصر سازه ای برای معماران. انتشارات دانشگاه تهران

[۱۲] محمدی, محمدمهدی؛ احمد دانایی نیا و حمیدرضا فرشچی، ۱۳۹۴، تاثیرمعنای دوگانه هندسه درسلسله مراتب ماندگاری آثارمعماری براساس دیدگاه امام محمدغزالی درشهرسازی اصفهان دوره صفویه، همایش بین المللی معماری عمران وشهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران، کانون سراسری انجمن های صنفی مهندسان معمار ایران.

[۱۳] مهدی زاده سراج، فاطمه و فرهاد فخاری تهرانی, نیما ولی بیگ، ۱۳۹۰، بکارگیری مثلث های هنجار در محاسبات ریاضی و پیاده سازی هندسه در ساخت و اجرای معماری سنتی ایران، نشریه مرمت و معماری ایران (مرمت آثار و بافت های تاریخی فرهنگی)، دوره۱، شماره۱، ۱۵-۲۶.

[۱۴] ولی بیگ، نیما و فهیمه قنبری دهکردی. ۱۳۹۴.تأثیر چیدمان هندسی آجر در فرم پذیری نمای قلعه های قاجاری شهرکرد. کنفرانس بین المللی معماری، شهرسازی، عمران، هنر و محیط زیست؛ افق های آینده، نگاه به گذشته.

[15] Akbarzadeh M, Van Mele T and Block P. On the equilibrium of funicular polyhedral frames and convex polyhedral force diagrams. Comput Aided Design 2015; 63: 118–۱۲۸

[16] M.Akbarzadeh. 3DGraphicStatics. PhDthesis,ETHZ¨urich,Z¨urich,Switzerland, 2016.

[17] M. Akbarzadeh, T. Van Mele, and P. Block. On the equilibrium of funicular polyhedral frames and convex polyhedral force diagrams. Computer-Aided Design, 63:118–۱۲۸, ۲۰۱۵.

[18] M.Akbarzadeh,T.VanMele,andP.Block. 3dgraphicstatics: Geometricconstruction of global equilibrium. In Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Amsterdam, The Netherlands, 2015b.

[19] M. Akbarzadeh, T. Van Mele, and P. Block. Three-dimensional compression form finding through subdivision. In Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Amsterdam, The Netherlands, 2015c.

[20] M. Akbarzadeh, T. Van Mele, and P. Block. Three-dimensional graphic statics: Initial explorations with polyhedral form and force diagrams. International Journal of Space Structures, 31(2):217–226, June - September 2016. doi: 10.1177/0266351116660802.