Archive of SID

سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری
The third annual conference for research in architecture,urban planning and urban management

بررسی تاثیر طراحی پارامتریک به عنوان ابزاری پردازشگر در معماری و سازه

مهسا حسنی[1]*

1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان . mahsa.hs93@yahoo.com

چکیده

طراحی پارامتریک یکی از روش های نوین و فراگیر در طراحی های امروزه ی جهان است. طراحی در این روش بر پایه ی پارامتر های طرح و روابط بین این پارامتر ها است و همچنین معماری را وارد عرصه ی جدیدی در فرم شناسی و روش شناسی کرده است. با رشد این چنین ابزارهایی پردازش و امکان تسلط طراح بر تمامی مقیاس های طراحی و اقتباس روابط بین آنها سوق می یابد. در طراحی پارامتریک فرآیند تولید در کنترل و اختیار معمار قرار گرفته به طوری که می تواند تمامی پارامتر های موثر بر طرح و شکل گیری فضا را به روش های مختلف اعمال کرده تا گزینه ی مطلوب را بیابد. سازه و معماری دارای ارتباط مقابل با هم می باشند که به کمک این ابزار می تواند احساس بهتری از روند طراحی و اجرا به نمایش بگذارند و اجرای تکنیکی آن با زیبایی شناسی و عملکرد در سازگاری کامل قرار می گیرد. در این مقاله سعی شده به روش توصیفی-تحلیلی طراحی پارامتریک را به عنوان ابزاری پردازشگر در کمک به معماری و سازه بررسی شود. در نتیجه چنین ابزارهایی به عنوان همکار طراح در یافتن فرم و یا شکل مناسب به معمار کمک می رساند و روند طراحی را نیمه خودکار و گاهی اتوماتیک کرده است.

واژه‌های کلیدی: طراحی پارامتریک، ابزار مدل سازی، معماری دیجیتال، طراحی معماری، سازه

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

این اصطلاح پارامتریک به تمام عناصری که در معماری به پارامتر های انعطاف پذیر تبدیل شده و در نتیجه با یکدیگر و زمینه قابل تطبیق اند دلالت می کند .در این روش ازطراحی معماری به جای استفاده از یک یا چند حجم هندسی (مکعب، استوانه و)... ، با فرم هابی متغیر و انعطاف پذیر کار می شود. متغیر ها در طرح پارامتریک به هم وابسته هستند و این متغیر ها به وسیله معادلات پارامتریک به دست میایند. در این روش از طراحی بر خلاف روش های سنتی برای تغییر در طراحی و اضافه کردن جزئیات به طرح زمان بسیار کمتری لازم است و نیازی به ترسیم دوباره طرح برای اعمال تغییرات نیست. در این صورت میتوان با تغییری در اطلاعات و داده ها در یک جزء ، تغییرات را در تمامی اجزاء اعمال کرد. [1]

مدل سازی دیجیتال و تجسم طراحی در زمینه آموزش وهم در زمینه کار طراحی معماری به یک ابزاربرای سنجش تبدیل شده است .در روش های سنتی طراحی با استفاده از ابزار های دو بعدی برای ترسیم در معماری مرسوم بوده اما امروزه ابزار های هوشمند سه بعدی در طراحی و مدل سازی پارامتریک به کار گرفته می شوند . در راستای پیش رفت های صورت گرفته دراین زمینه، توسعه دیجیتال تنها به مدل سازی ساده پارامتریک ختم نمی شود بلکه امروزه در مرحله ی استفاده از الگوریتم های مولد قرار گرفته است . الگوریتم های گرافیکی در نرم افزار های مختلف متفاوت است .که به ابزار های طراحی سه بعدی متصل می شوند و مدل سازی پارامتریک را ایجاد می کنند. طراحی پارامتریک از این نظر معماری را برای استفاده از یک روش جدید در کمک به روند طراحی همکاری می کند.[2]

در این مقاله پس از تعریفی مختصر از طراحی پارامتریک و نرم افزار های مورد استفاده در این رویکرد از معماری در سه حوزه مختلف به همراه نمونه های موردی بررسی خواهد شد. همچنین بررسی نمونه هایی در زمینه طرح سازه ای با توجه به پارامترهای انها شرح داده می شود.

2- پیشینه تحقیق

.

2-1- طراحی پارامتریک (الگوریتمیک)

واژه پارامتریک از ریاضیات گرفته شده است و به معنی استفاده از پارامتر ها و متغیر هایی است که می توانند برای بهبود نتیجه تغییر پیدا کنند .طراحی پارامتریک درتعریف یک روند تفکر الگوریتمی است که امکان بیان پارامترها و قوانینی که رابطه بین هدف طراحی و پاسخ طراحی روشن می کند را ممکن می سازد. [3]

طراحی پارامتریک در معماری دیجیتال به همراه پیشرفت نرم افزار ها در تولید فرم های پیچیده، طراحی معماری را وارد مرحله جدیدی کرده است .در این مرحله طراح به این توانایی دست یافت که با استفاده از برنامه نویسی و کدگذاری به تولید فرم بپردازد.

در گذشته تولید فرم در برنامه های سه بعدی سازی با ساخت و ویرایش تک تک اجزاء صورت می گرفت اما اکنون نرم افزارهای جدید امکان توسعه الگوریتمیک فرم در فضای طراحی را فراهم کرده اند تا با برنامه نویسی فرم جدیدی از طراحی دیجیتال را در عرصه معماری ایجاد کنند. مجموعه مشخصی از دستورات که در طراحی الگوریتمیک اطلاعات را به عنوان ورودی دریافت کرده،

www.SID.ir

Archive of SID

پردازش می کند و پاسخ آن را در خروجی به ما می دهد .الگوریتم ها کار های مختلف و متعدد محاسباتی را انجام می دهندو به نوعی زبان اصلی کامپیوتر در انجام عملیات هستند.

طراح می تواند اطلاعات و نحوه ورود آن به الگوریتم و نحوه پردازش آن توسط الگوریتم را تعریف کند و حاصل این پردازش به صورت فرم در فضای مجازی ظاهر می شود.(در ادامه به توضیحات بیشتری در این زمینه میپردازیم). طراح در این فرایند به تولید یک فرم پیش فرض مشغول نیست، او قوانین و پارامتر هایی را کنار هم قرار می دهد و الگوریتمی را سازماندهی می کند که بر اساس پردازش آن، فرم معماری تولید می شود .لذا با این تعریف شاید بتوان گفت که فرم معماری تنها موضوع اصلی نیست بلکه فرایند تولید آن در اختیار و کنترل معمار است و او با تغییر پارامتر های مختلف طراحی در الگوریتم گزینه های مختلف تولید می کند تا در نهایت گزینه مطلوب را انتخاب نماید .در این فرایند, معماری در فضایی متاثر از پارامتر های مختلف شکل می گیرد. [۴]

به طور کلی در طراحی پارامتریک, فرم با مقادیر مختلف پارامتر ها و معادلات شکل می گیرد . در این روش به دلیل وابستگی های متقابل میان اشکال رفتار فرم ها تحت تغییرات مختلف قابل تعیین شدن است .از آنجایی که طراحی پارامتریک از سال ۱۹۹۰ تحت تاثیر پیشرفت های معماری دیجیتال قرار گرفته است توسعه طراحی پارامتریک را در سه حوزه شامل طراحی مفهومی پارامتریک، طراحی ساختاری پارامتریک و توسعه الگوریتم های تولید شده در طراحی پارامتریک می توان بررسی نمود.

1-1-2- طراحی مفهومی پارامتریک

در طراحی پارامتریک مفهومی تنها پارامتر های طراحی مشخص می شوند در این روش شکل معماری تعیین کننده نیست بلکه با تعیین مقادیر مختلف برای پارامتر ها اشکال مختلف قابل طراحی اند .این روش نیازمند دانش برنامه نویسی برای معماران است . از نرم افزار های کاربردی در این روش نرم افزار Maya و Rhino script می باشد. [5]

نرم افزار MAYA (عرضه شده در سال 2005) یکی از پیشرفته‌ترین نرم‌افزار انیمیشن, مدل سازی و متحرک سازی سه بعدی است که به طور گسترده در استودیوهای فیلم سازی، انیمیشن, معماری و همینطور صنعت بازی‌های رایانه‌ای استفاده می‌شود که نقطه قوت آن در مدل سازی حرفه ای آن است و در شرکتهای بزرگ نیز بیشتر از این خصیصه اش استفاده می‌کنند.[6] (شکل1)

شکل ۱ . نمونه ای از محیط نرم افزار MAYA

www.SID.ir

Archive of SID

نرم افزار Rhinoceros 3D یک نرم افزار مدل ساز سه بعدی قوی است که در سال 1980 توسط برادران مک نیل (Mcneel)در سیاتل آمریکا متولد شد و در آن از سیستم NURBS (Non-uniform rational B-spline) استفاده شد که در واقع یک سیستم ریاضی برای محاسبه و ارائه منحنی ها و سطوح در گرافیک کامپیوتری است . تعریف هندسه با خطوط ریاضی باعث شده است که راینو در تبدیل هندسه به نمونه های واقعی جلوتر از دیگر نرم افزار های مدل ساز باشد. از دیگر مزیت این نرم افزار مدل سازی پوسته های پیچیده با دستورات ساده است. [7](شکل 2)

پروژه Lou Ruvo (شکل3) طراحی شده توسط فرانگ گهری در محیط Rhino script (Rhinoceros) میباشد.

شکل 2 : نمونه ای از محیط نرم افزار Rhino

شکل 3: lou ruvo b uilding

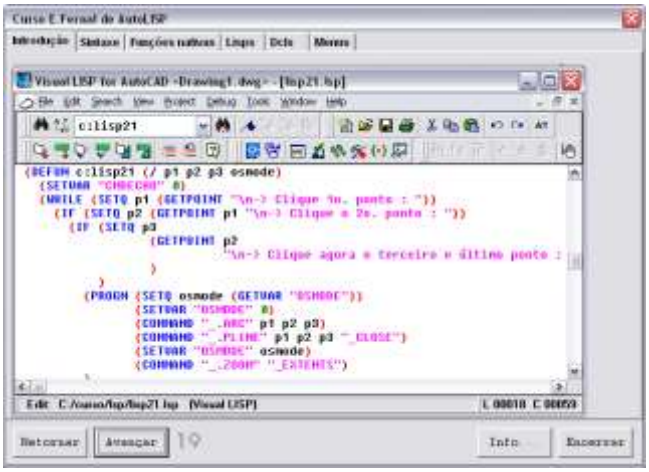
۲-۱-۲- طراحی پارامتریک ساختاری

طراحی پارامتریک ساختاری شامل محیط هایی است که که دارای اجسام سه بعدی از پیش ساخته شده می باشد .در این طراحی به جای ترسیم خط یا قوس معماران با اجسام از پیش تعیین شده مانند در، پنجره و غیره مدل سازی می کنند. نرم افزار های این گروه شامل بسته های مختلف CAD مانند Revit ، Archi cad ، Auto lisp می باشد. [8]

Auto Lisp یک نوع زبان برنامه نویسی می باشد که با استفاده از آن قابلیت های نرم افزار Auto Cad به صورت قابل ملاحظه ای افزایش می یابد، اگر LISPها به طور صحیح استفاده شوند قادر خواهیم بود علاوه بر برخورداری از سرعت بسیار بالا در ترسیم، کارهائی نظیر جمع و ضرب در Textهای Auto Cad، طراحی های تخصصی ،طراحی اجزاء ساختمان،فلوچارت،رسم توابع ریاضی، و مدل سازی برای روش المان محدود وحتی محاسبات مقاومت مصالح انجام دهیم. (ارائه شده در سال 1986) [9] (شکل 4)
پرژه Turning torso (شکل5) پروژه طراحی شده توسط نرم افزار Auto lispمی باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 4: نمونه ای از محیط نرم افزار Autolisp

شکل5: Turning torso building

Graphisoft ArchiCAD ابزاری دقیق برای طراحی می باشد. این نرم افزار محصول شرکت Graphisoft در سال 1982بوده و میتوان گفت اولین نرم افزاری که برای طراحی و نقشه کشی دو و سه بعدی ساختمان ارائه شد نرم افزار آرشیکد بود. یکی از قابلیت های بسیار خوب این نرم افزار که مشابه آنرا در نرم افزاری مانند اتوکد نمیتوان مشاهده نمود قابلیت ایجاد خودکار حجم سه بعدی یک پروژه پس از طراحی دو بعدی آن است. علاوه بر این در این نرم افزار دیوار ، سقف ، درب ، پنجره و سایر اجزای یک ساختمان به صورت از قبل آماده در آن قرار دارند و فقط کافیست که شما آنها را انتخاب کنید و با وارد نمودن سایز و اندازه ی دلخواه خود آنها را بکار گیرید. [10](شکل 6 و 7)

شکل 6 : نمونه ای از محیط نرم افزار archicad

شکل7: پروژه طراحی شده توسط نرم افزار archicad

www.SID.ir

Archive of SID

Autodesk Revit نرم‌افزار مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است که برای استفاده مهندسان معمار، عمران و تأسیسات کاربرد دارد و همچنین برای مدل‌سازی سه‌بعدی و ترسیم جزئیات ساختمانی استفاده می‌شود. این برنامه به کاربران توان طراحی ساختمان و سازه و مولفه‌های آن به صورت سه بعدی، یادداشت و علامت گذاری با عناصر دوبعدی و دسترسی اطلاعات ساختمانی از پایگاه داده‌های مدل ساختمان را می‌دهد .این نرم افزار قادر به گردآوری اطلاعات و مدل سازی ساختمان به گونه‌ای ۴ بعدی با ابزاری برای طرح‌ریزی و ردیابی طبقات مختلف در شیوه زندگی ساختمان، از مفهوم تا ساخت و ویرانی پس از آن و بهسازی عملکرد ساختمان است.رقیب اصلی نرم‌افزار **REVIT** در بازار **tekla structures** و **architectural deskto** می‌باشد. [11](شکل 8 و 9)

شکل 8 : نمونه ای از محیط نرم افزار revit

شکل9 : پروژه طراحی شده توسط نرم افزار revit

3-1-2-الگوریتم های تولید شده در طراحی پارامتریک

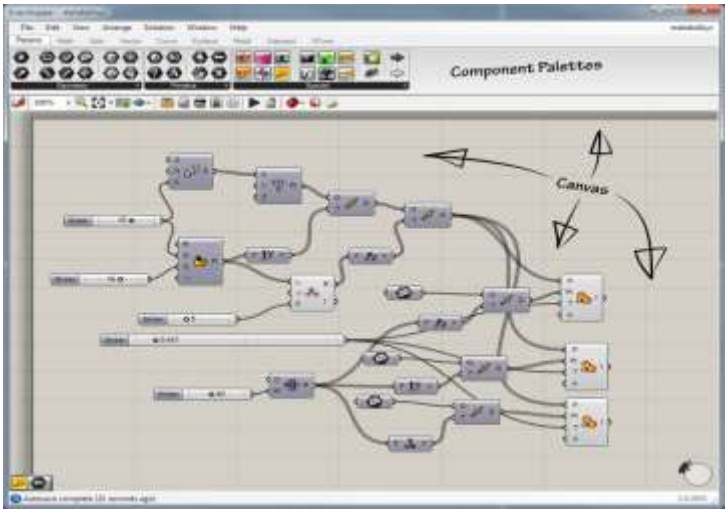
برنامه نویسی مولد یک سبک از برنامه نویسی کامپیوتری است که منابع آن کد هایی از پیش ساخته شده است .معمولا شامل نرم افزارهایی است که بر اساس کامپوننت (component)عمل می کنند .در این روش نیازی به دانش برنامه نویسی نیست.[۱۷]
در این روش دسته ای از الگوریتم های مولد به صورت پیش فرض در نرم افزار ها ساخته شده و یا به صورت پلاگین قابل افزایش به این نرم افزار ها هستند .این دسته از الگوریتم ها با انتخاب چند آیتم ورودی و کنترل آن ها عملیات تولید فرم را انجام می دهند . دسته ای دیگر از این الگوریتم ها به صورت کد های آماده شده ای هستند که از کتابخانه های مجازی قابل دریافت و اجرا بر روی نرم افزار های مختلف می باشند.اما در عام ترین حالت باید توسط هر طراح و متناسب با هر پروژه ای که روی آن کار می کند طراحی، ویرایش و اجرا شوند. [2]

یکی از نرم افزار های این روش نرم افزار Grasshopper می باشد .محیط کار نرم افزار گرس هاپر یک محیط جانبی از نرم افزار مدل سازی RHINO است که در حین اجرای برنامه rhino فقط می توان به آن دسترسی داشت .ورودی های مورد نیاز الگوریتم های نوشته شده در این نرم افزار از محیط rhino دریافت می شوند و خروجی های آن هم در برنامهrhino نمایش داده می شوند. [۱۲] (شکل۲)

www.SID.ir

Archive of SID

Grasshopper به معمار ها این امکان را می دهد که فرم های پیچیده را به صورت پارامتر های مرتبط دیده و با تغییرات پارامتر های تعریف شده تغییرات فرم را نیز به صورت زنده مشاهده کنند. به عبارت دیگر همزمان با تغییر پارامترها ,حجم نیز تغییر می کند این ویژگی به معماران این قابلیت را میدهد که با تغییر پارامترها و مشاهده نتیجه آن ، راحت تر و سریع تر به فرم های دلخواه خود برسند و در کنار آن یافتن فرم های کارا از نظر سازه و انرژی نیز آسان تر می گردد. این پلاگین بوسیله هماهنگی با Rhino , توابع و دستورات Rhino را به صورت همان جعبه ها درآورده و نحوه ارتباط بین دستورات را آسان تر و قابل فهم تر می کند . این فرایند باعث می شود درک روابط این توابع نسبت به Rhino، Rhino script بسیار راحت تر شود . Grasshopper در مقایسه با نرم افزارهای GC (Generative components) و Rhino script بسیار ساده تر است زیرا لازمه ی استفاده ی از آنها دانستن برنامه نویسی و کد نویسی است اما در Grasshopper با استفاده از توابع تصویری و اتصال آنها به هم می توان حجم های پیچیده هیبریدی را تولید نمود . به همین دلیل Grasshopper در زمینه جذب معمارانی که ذهنی پیچیده و طرح های پارامتریک دارند بسیار موفق بوده است.[12] (شکل 10)



شکل۱۰: نمونه ای از محیط نرم افزار گرس هاپر

یکی از شاخصه های grasshopper که می توان آن را مزیت استفاده از این نرم افزار نامید میزان انعطاف پذیری بالا و تغییر پذیری آن است که در طول فرآیند طراحی در اختیار طراح قرار می گیرد.

یکی از تفاوت های نرم افزار های دیگر با grasshopper این است که طراح در هنگام طراحی با دیگر نرم افزار های طراحی پارامتریک خروجی را در ذهن خود شکل داده و توسط نرم افزار به صورت گرافیگی ارائه میکند ولی grasshopper همکار طراح و ذهن هوشمند درطراحی است که فرم های پیچیده ای را بر مبنای تغییر پارامتر های ورودی در اختیار طراح قرار می دهد. در ادامه نمونه هایی از پروژه های طراحی شده به سبک معماری پارارمتریک ارائه شده است.(شکل 12،11و 13)

www.SID.ir

Archive of SID

Heydar Aliyev Center,Zaha Hadid, 2013, Baku , Azerbaij:11 شکل

Harbin Opera House , MAD Architects,2015, Heilongjiang, China: 12 شکل

The YAS Hotel , Hani Rashid + Lise Anne Couture, 2010, Abu Dhabi, UAE : 13شکل

www.SID.ir

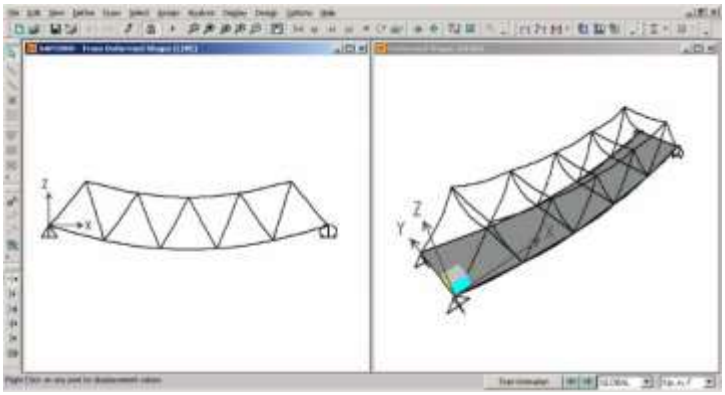
Archive of SID

۲-۲- معماری و سازه

تلفیق معماری و سازه ترکیبی است از هنر ، ارزش های زیبایی شناسی، علم و تکنولوژی. از گذشته تا به امروز همواره معماران و مهندسان سعی در ابداع راه حلهای جدید و کارآمدی برای هماهنگی سازه و معماری کرده اند .به گونه ای که سازه علاوه بر تامین نیازهای ساختاری بتواند به بهترین شکل با معماری ترکیب شده و با ایجاد هماهنگی لازم با فرم معماری از نظر زیبایی شناسی نیز با شکوه و چشم نواز باشد.در سالهای اخیر سبکهای جدید معماری و نرم افزارهای مدرن که معماران را در طراحی و خلق فرمها و هندسه های پیچیده یاری می دهند، ظهور یافته اند .معماری پارامتریک (طراحی الگوریتمیک) تحولی عظیم در طراحی معماری و سازه ایجاد کرده است.در ادامه به بررسی چند نرم افزار در زمینه طراحی سازه می پردازیم.[13]

نرم افزار SAP تمامی نیاز های لازم برای طراح را فراهم می سازد. قالب های آماده ای که در این نرم افزار پیش بینی شده است باعث می شود قادر به شبیه سازی طرح های بسیار پیچیده باشید. این برنامه برای طراحان پل نیز امکانات ویژه ای در نظر گرفته است که قادربه تحلیل استاتیکی و دینامیکی , تحلیل و طراحی المان های سازه ای , تحلیل خطی و غیر خطی شامل تحلیل لرزه ای و تحلیل بار متحرکت وسیله ی نقلیه برروی پل ها می باشد. (شکل14)

شکل14: نمونه ای از محیط نرم افزار SAP



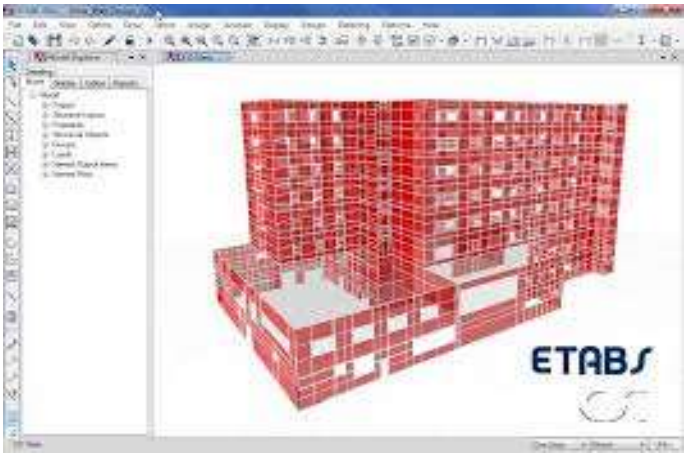
نرم افزار STAAD.Pro قابل استفاده برای طراحی و محاسبه انواع سازه ها از قبیل ساختمان های مسکونی , آسمان خراش ها , مخازن ذخیره , تونل ها و حتی ساز پیانو استفاده می شود. از مهمترین مزیت های این برنامه پشتیبانی از آیین نامه های طراحی با مصالح مختلف از قبیل : فولاد , بتن , چوب , آلومینیوم و مقاطع مرکب است. (شکل 15)

شکل 15: نمونه ای از محیط نرم افزار STAAD.PRO

www.SID.ir

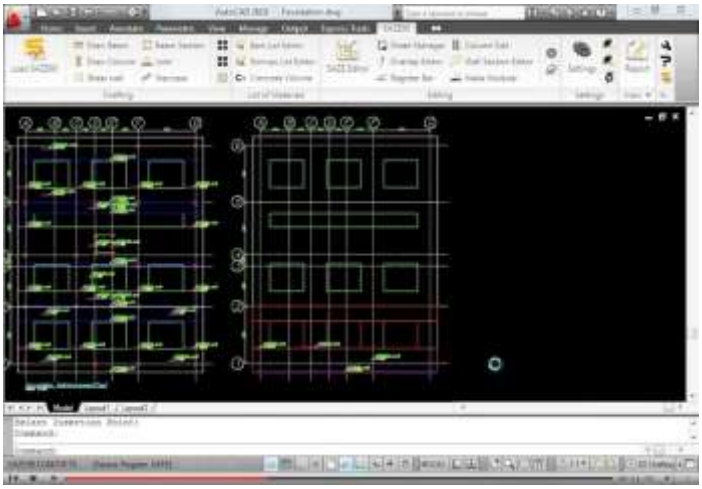
Archive of SID

نرم افزار ETABS یک نرم افزار مخصوص تحلیل و طراحی سازه های ساختمانی می باشد و تمامی المان های ساختمان را می توان در این نرم افزار طراحی کرد. ازمهمترین قابلیت های این برنامه عبارت اند از : محاسبه خودکار جرم و مرکز جرم , انتقال بارهای ثقلی از کف ها به تیر ها , مدل سازی المان های پوسته ای و رامپ ها و همچین دارای قابلیت طراحی قاب های فولادی و بتنی و... میباشد .(شکل 16)



شکل 16 : نمونه ای از محیط نرم افزار ETABS

نرم افزار SAZE90 که این نرم افزار در محیط AutoCAD برنامه نویسی شده است و همچنین قادر به دریافت خروجی های نرم افزار هایی مانند ETABS , SAP وSAFE می باشد و بر اساس آنها نقشه های اجرائی را درمحیط AutoCAD ترسیم میکند. بخشی از قابلیت های SAZE 90 برای ترسیم سازه های بتنی عبارت اند از : تیرها , ستون ها , فونداسیون پیشرفته , دیوار برشی پیشرفته , سقف ,پله و .... میباشد. [13] (شکل 17)



شکل17 : نمونه ای از محیط نرم افزار SAZE90

www.SID.ir

Archive of SID

3- تجزیه و تحلیل

اولین گام در فرآیند طراحی پارامتریک تعیین پارامترهای طرح است. این پارامتر ها می توانند از هر چیزی استخراج شوند. مانند هندسه موجودات زنده و یا گیاهان یا هندسه ارگانیک موجود در بافت سنتی و .... پس از این مرحله پارامتر ها در مجموعه ای روابط الگوریتمی با یکدیگر پیوند یافته اند و طرح کلی حاصل میشود. در نهایت طرح می تواند بر مبنای برخی از پارامتر ها بهینه سازی شود تا برای اجرا در زمینه معماری و شهرسازی مناسب شده باشد .

- الگوریتم ها به طراحان اجازه می دهند تا بر محدودیت های روش های سنتی طراحی غلبه کرده و به درجه ای از پیچیدگی و کنترل دست پیدا کنند . الگوریتم مشخص شده مجموعه ای از دستور العمل ها را بر روی داده های مورد نظر اعمال کرده و در نهایت خروجی های مشخص را به کاربر ارائه می کند. و در نهایت الگوریتم یک فرآیند است که یک عمل خاص را از طریق ترکیبی از مراحل ساده انجام می دهد.
- پارامتر به فاکتور عددی یا قابل اندازه گیری گفته میشود که بخشی از یک مجموعه تعریف کننده یک سیستم را تشکیل می دهد.

۴- نتیجه گیری

طراحی پارامتریک نقش قابل توجهی در طراحی فرم و ساخت المان های سازه ای دارد. فناوری های روز کامپیوتر به کاربران امکان استفاده از ابزار های طراحی برای مدلسازی, آنالیز و ساخت فرم های پیچیده را فراهم کرده است. در این پژوهش تعریفی مفهومی از طراحی پارامتریک بیان گردید و همچنین به معرفی ابزار های طراحی مدلسازی در معماری و سازه پرداخته شده است . با توجه به ویژگی هایی که در روش طراحی هر طراح وجود دارد و امکاناتی که هر یک از این نرم افزارها در اختیار کاربر قرار می دهد و همچنین با توجه به محدودیت ها و خواسته های پروژه ی مورد بررسی کاربر می تواند در جهت ارتقای کیفیت و ساخت و کاهش هزینه ها و زمان از هر یک ازاین روش ها و ابزار های مورد بررسی بهره گیرد.

با توجه به مطالب گفته شده می توان اظهار نمود که در طراحی پارامتریک فرم معماری و سازه از هم جدا نیستند و سازه بنا هماهنگ با نیاز های طراحی , محیطی و ... برنامه ریزی و طراحی می شود .طراح می تواند با استفاده از نرم افزارهای برنامه نویسی و الگوریتم های گوناگون پارامتر های موجود در طرح را وارد کرده و نرم افزار پس از پردازش و بررسی گزینه های مختلف این امکان را به طراح می دهد که بهترین گزینه را انتخاب نماید .

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] تجویدی, محمد امین , ّ روند طراحی پارامتریک در ساختمان های بلند, ّ معماری و فرهنگ ,شماره 36 , 1388
[2] M . Staviric and O .Marina ," APPLIED MATHEMATICS AND INFORMATICS , Vol5 , no .1 , 2011.
[3] S .Singh and K .kensek ," EARLY DESIGN ANALYSIS USING OPTIMIZATION TECHNIQUES IN DESIGN / PRACTICE ," in building simualion , Atlanta , 2014
[4] خبازی , زوبین, 1391 , پارادایم معماری الگوریتمیک , مشهد : انتشارات کتابکده کسری
[5] E .prousalidou and H .sean ," A parametric presentation of ruled surfaces ," Springer , pp . 265-278
[6] www.autodesk.com /products/maya/overview.
[7] www.rhino3d.com/ tutorials/technical tips/ overview.
[8] M .william ,"constracting complexity," in computer aided architectural design futures,2005, pp . 41-50
[9] www.afralisp.net /autolisp
[10] www.graphisoft.com /archicad
[11] www.autodesk.com / products/ revit-family / overview.
[12] www.grasshopper.com /page /explore/ grasshopper-rhino / overview .
[13] نیک فطرت , مرتضی ,1390, مبانی سازه ای در معماری .
[14] Structure Magazine, Software Guide, August 2014
[15] R .Issa , Essential mathematics for computenatiobal design , 2009

www.SID.ir