مقاله پژوهشی

صفحات
۴۲-۶۴

تاریخ دریافت مقاله:
۱۴۰۰/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش نهایی:
۱۴۰۰/۱۰/۲۰

شناخت معماری کینتیک و فاکتورهای موثر بر گونه‌شناسی آن

ساجده پورخسروانی[۱]، سارا حمزه‌لو[۲*]

چکیده

معماری کینتیک گونه خاصی از معماری با تکنولوژی پیشرفته است که ساختمان‌ها را قادر می‌سازد تا متناسب با هدف پروژه، نیازهای کاربران، شرایط محیطی (محیط ساخته‌شده و اقلیم) و اقتضائات زمانی، انواع حرکت (اعم از واقعی، غیرفضایی و مجازی) را در اجزای مختلف سیستم از قبیل پوسته و نما، فضاهای داخلی، اجزای سازه و حتی کل ساختمان به صورت یکپارچه ایجاد کند. این معماری به علت مباحث میان رشته‌ای و تعدد فناوری‌های درگیر با چالش‌هایی مواجه است و پیشرفت‌های علوم رباتیک، مکانیک و الکترونیک و سازه‌های پاسخگو به طراحی کینتیک برای این رویکرد نوین ضروری است. لذا هدف از این پژوهش ارائه تعاریف مشترک برای مفاهیم میان رشته‌ای و ارائه یک چارچوب نظری و مفهومی مشترک برای طراحی معماری کینتیک و دسته‌بندی انواع آن متناسب با هدف طراحی است که می‌تواند کمک شایانی به انتخاب سیستم کینتیک مناسب و مطلوب در هر پروژه کند. این پژوهش به روش توصیفی-تحلیلی و با بهره‌گیری از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای به مرور تعاریف و مفاهیم وابسته به حرکت و جنبش در معماری می‌پردازد و انواع دسته‌بندی‌های ارائه شده از سوی پژوهشگران و رویکردهای ایشان و نیز مراحل و استراتژی‌های طراحی کینتیک را مورد بررسی قرار می‌دهد. این بررسی‌ها نشان داد که می‌توان با مد نظر قرار دادن مواردی چون نوع مکانیزم و محل حرکت، میزان جنبش، پیکره سیستم، تکنیک‌های کنترل و نحوه بهره‌برداری از ساختمان دسته‌بندی‌های متنوعی برای معماری کینتیک ارائه داد که هریک به تنهایی پاسخگو نبوده و جهت عرضه کاربردی‌ترین طبقه‌بندی نگاهی جامع به کلیه این موارد راهگشا خواهد بود. این پژوهش همچنین نشان داد که طی سال‌های اخیر تمایل فزاینده‌ای در مورد تحقیق و بکارگیری سیستم‌های کینتیک در زمینه کاهش مصرف انرژی و استفاده از آن در نمای ساختمان وجود دارد و آنچه در زمینه مطالعات معماری کینتیک مهجور مانده، پژوهش در زمینه کاربرد سیستم‌های کینتیک در ساختار فضاهای داخلی، سازه و استفاده از پتانسیل‌های حرکتی فضاهای داخلی در جهت تامین امنیت و مطابقت با نیازهای کاربران، انعطاف‌پذیری فضا، تامین دید و منظر مناسب و متنوع می‌باشد.

واژگان کلیدی: معماری کینتیک، سیستم‌های کینتیک، مکانیزم‌های حرکتی، فرآیند طراحی کینتیک.

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
E-mail: sajede.p.3728@gmail.com

۲.استادیار، گروه معماری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران(*نویسنده مسئول).
E-mail: sara.hamzehloo@kiau.ac.ir

۱- مقدمه

به طور کلی، ساختمان‌ها به وسیله نیروهای تاثیرگذار بی‌شماری از قبیل: زمان، آب‌وهوا، عملکرد و نیازهای بشری تحت تاثیر قرار می‌گیرند که ایستا و ثابت نبوده بلکه پویا و ناپایدارند. در نتیجه در عصر حاضر نیاز به توسعه ساختمان‌هایی است که به عنوان سیستم‌هایی پیچیده خود را با اقلیم و بهینه‌سازی انرژی تطبیق دهند (Trubino, 2013: 75). از سوی دیگر ظهور فرآیند طراحی دیجیتال و فناوری‌های مقداری جدید و رباتیک، فرض مرسوم مبنی بر ایستا بودن معماری را با چالشی جدی مواجه کرده است (Megahed, 2017: 1). لذا طی دهه‌های اخیر معماران تلاش کرده‌اند که به نیازهای همواره در حال تغییر بشر با استفاده از تکنیک‌های طراحی و تکنولوژی‌های بسیاری پاسخ دهند که یکی از برجسته‌ترین آن‌ها معماری کینتیک است. این اصطلاح برای اولین بار توسط ویلیام زوک[1] و راجر اچ. کلارک[2] در اوایل دهۀ هفتاد میلادی در کتابشان تحت عنوان « معماری کینتیک» مطرح شد. آن‌ها ساختمان‌های قابل تغییری را تصور کردند که می‌توانستند هندسه فیزیکی خود را تغییر دهند؛ مانند استادیوم‌هایی با صندلی متحرک و سقف‌های جمع شونده، و ساختمان‌های انعطاف‌پذیر با سازه‌های پرشده با هوا یا گردان (Bier & Knight, 2010: 2).

امروزه معماری کینتیک زمینه مطالعاتی گسترده‌ای است که شامل انواع سیستم‌ها و اشکال مختلف می‌شود. لیکن در مورد قوانین دقیق مسلط بر این شکل از معماری، وضوح خاصی وجود ندارد که ممکن است به دلیل فقدان رویکردهای مفهومی باشد که اصطلاحات، رویکردها و سیستم‌های مختلف کینتیک را تعریف، طبقه بندی و شناسایی می‌کند (Megahed, 2017: 2). هدف از این پژوهش درک سیستم‌های کینتیک، مفاهیم و رویکردهای مرتبط با معماری و ارائه چارچوب مفهومی منطقی برای دسته‌بندی معماری کینتیک و استراتژی‌های طراحی و کاربردهای مختلف آن با توجه به مراحل طراحی و عناصر کلیدی آن می‌باشد.

۲- سوال‌های تحقیق

پاسخگویی به سوالات زیر جهت درک بهتر مساله کمک شایانی در جهت پیشبرد اهداف پژوهش خواهد کرد.

۱.معماری کینتیک چگونه و بر اساس چه فاکتورهایی می‌توانند دسته‌بندی شود؟

۲.استراتژی‌های اصلی طراحی و عناصر کلیدی در تعریف فرایند طراحی معماری کینتیک چه مواردی هستند؟

پاسخ به این سوالات نیازمند انجام بررسی‌های چند رشته‌ای در زمینه‌های مختلف و لذا جمع آوری داده‌های ثانویه است.

۳- پیشینۀ تحقیق

گرچه مفهوم معماری کینتیک در سه دهه اخیر به شدت شروع به جلب توجه کرده است، لیکن جنبش گرایی همواره در معماری وجود داشته است و درها و پنجره‌های کرکره‌ای و کشویی ساده‌ترین و معمول‌ترین آن‌هاست. پل‌های متحرک چوبی، بالابرها و آسانسورها، سیستم‌های هیدرولیکی و مکانیکی کینتیک از سایر نمونه‌های جنبش در معماری از گذشته تا کنون هستند (Ramzy and Fayed 2011).

ظهور فوتوریسم در دهۀ آغازین ۱۹۰۰ میلادی در ایتالیا که مبانی اصلی آن درباره ارتقا حرکت، دینامیک و سرعت بود و ایده‌های آنتونیو سنت ایلیا و پس از آن طرح‌های معرفی شده توسط معماری کانستراکتیویسم روسی (همانند کارهای ولادیمیر تاتلین، نیکولای لادوفسکی و کازیمیر مالویچ)، گرچه هرگز در زمان خود محقق نشدند، لیکن دارای نقش مهمی در تکامل معماری کینتیک بودند. اولین

کارهـای چشـمگیر مرتبـط بـا سیسـتم‌های کینتیـک در قـرن بیسـتم توسـط معـماران مکاتـب متابولیسـم و گـروه آرشـیگرام ارائـه شـدند. معـماران ایـن مکاتـب بـر ایـن بـاور بودنـد کـه معـماری می‌بایسـت سرزندگـی و انـرژی را هماننـد آنچـه در موجـودات زنـده اسـت بازتـاب دهنـد. بـه عـلاوه آن‌هـا معتقـد بودنـد کـه یـک سـاختمان بایـد قـادر باشـد تغییـر و رشـد کنـد و در صـورت لـزوم بـه آسـانی از بیـن رفتـه و جایگزیـن شـود. نهایتـا در دهه‌هـای اخیـر معـماری کینتیـک توسـط معـماران مطرحـی همچـون باکمینسـتر فولـر، فـرای اوت[۳]،سـانتیاگو کالاتـراوا[۴] گسـترش یافـت. موفق‌تریـن طرح‌هـا در معـماری کینتیـک، طرح‌هـای چـاک هابرمـن[۵]، متشـکل از دسـته‌ای از واحدهـای مفصـل‌دار غالبـا آلومینیومـی، سیسـتم سـازه‌ای مکانیکـی سـبک و منعطـف بـود هسـتند (Ramzy and Fayed 2011). ایـن سیسـتم‌ها تـا بـه امـروز در حـال توسـعه بوده‌انـد و نهایتـا امـروزه بـا مقوله‌هـای رباتیـک و هوشـم نـدی بـه شـکل یـک گونـه معـماری بـا تکنولـوژی پیشرفتـه نمایـان شـده‌اند.

مـرور ادبیـات موجـود، اعـم از آکادمیـک و حرفـه‌ای، تمایـلات رو بـه رشـد اخیـر بـه تحقیـق و پژوهـش پیرامـون معـماری کینتیـک را نشـان می‌دهـد کـه در برخـی منابـع و پروژه‌هـای تحقیقاتـی قابـل مشـاهده اسـت (نمـودار ۱). در همیـن راسـتا تلاش‌هایـی نیـز در زمینـه ارائـه دسـته‌بندی‌های متعـددی از سـوی پژوهشـگران و اندیشـمندان مختلـف صـورت گرفتـه اسـت کـه در قالـب جـدول شـماره ۱ ارائـه شـده اسـت.

جدول ۱. انواع طبقه بندی‌های ارائه شده از سوی پژوهشگران حوزه معماری کینتیک (مأخذ: نگارندگان)

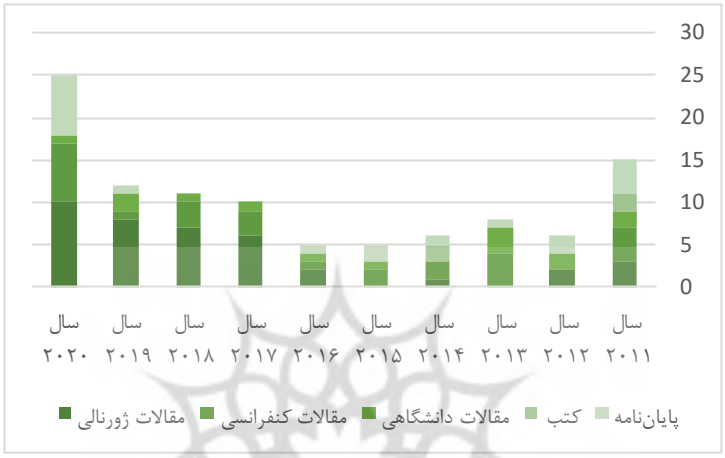
سال ارائه	نویسنده/ نویسندگان	رویکرد پژوهش	دسته بندی ارائه شده
۱۹۶۸	Popper	درک روش‌های جنبش و حرکت در هنر	✓ حرکت مجازی یا واقعی ✓ فضایی یا غیر فضایی ✓ قابل پیش‌بینی از طریق روش‌های مکانیکی یا غیرقابل پیش‌بینی از طریق نیروهای طبیعی
۱۹۷۰	Zuk and Clark	بررسی معماری کینتیک از طریق کاربردهای معمارانه و جنبه‌های ساختاری	✓ سازه‌های خود برپاشونده پویا ✓ مکانیسم ها یا اجزای کینتیک ✓ گروه برگشت‌پذیر یا غیر برگشت‌پذیر ✓ معماری افزایشی ✓ ساختارهای تغییر شکل پذیر یا قابل تغییر ✓ معماری متحرک یا یکبار مصرف
۱۹۷۲	Otto and Burkhardt	استفاده از سازه‌های سبک، بخصوص سقف‌های قابل تبدیل	✓ سازه‌های کششی ✓ سازه‌های غشایی
۱۹۹۲	Brookes and Grech	بررسی انواع سازه در معماری قابل حمل از دیدگاه پیش‌ساختگی	✓ بسته‌های مسطح ✓ تاشوی قیچی‌سان ✓ سیستم‌های غشایی ✓ سازه‌های بادی یا پنوماتیک ✓ سازه‌های تنسگریتی ✓ غلاف‌ها یا کپسول‌ها
۲۰۰۰	Fox and Yeh	کاوش سیستم‌های کینتیک بر پایه سه عنصر کلیدی: مهندسی سازه، فن‌آوری سنسور، و معماری سازگار	✓ پویا (سیستم‌های متحرک، قابل تبدیل و افزایشی کینتیک) ✓ قابل استقرار ✓ تعبیه شده
۲۰۰۵	Sanchez-del-Valle	درک سازه‌های انطباق‌پذیر کینتیک با ابزارهای دیجیتال	✓ طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی ✓ طراحی مبتنی بر عملکرد ✓ نمونه‌سازی دیجیتال

ادامهٔ جدول ۱. انواع طبقه‌بندی‌های ارائه شده از سوی پژوهشگران حوزه معماری کینتیک (مأخذ: نگارندگان)

سال ارائه	نویسنده/ نویسندگان	رویکرد پژوهش	دسته بندی ارائه شده
۲۰۱۰	Asefi	بررسی انواع سازه‌های سقفی قابل تبدیل که به نیازهای کاربر پاسخ می‌دهند	✓ سازه‌های خود پشتیبان و غیر خود پشتیبان ✓ معماری دایمی یا موقت ✓ اصول کش‌بستی و کششی
۲۰۱۰	El Razaz	کاوش چشم‌انداز پایدار سازه‌های معماری کینتیک	✓ پویا ✓ ایستا
۲۰۱۰	Kirkegaard and Sorensen	بررسی مقاومت سازه‌های کینتیک (Kirkegaard & Sorensen, 2010: 2382)	✓ سازه‌های میله‌ای فضایی متشکل از میله‌های لولایی ✓ سازه‌های صفحه تاشو متشکل از صفحات لولایی ✓ سازه‌های کش‌بستی (تنسگریتی) ✓ سازه‌های غشایی
۲۰۱۱	Friedman and Farkas	بررسی انواع سازه‌های سقفی متحرک در جهت تامین شرایط ساخت و ساز ایمن و سریع و یا در راستای سازگاری سازه با شبیه‌سازی خارجی	✓ سقف‌های جمع‌شونده با قطعات متحرک صلب ✓ سازه‌های تاشوی قیچی‌سان ✓ سازه‌های کشبستی قابل استقرار ✓ سازه‌های جمع‌شونده/ قابل استقرار غشایی ✓ سازه‌های بادی (پنوماتیک)
۲۰۱۱	Moloney	بررسی معماری که با زمان تغییر کند	✓ تفسیر هندسی در فضا ✓ تغییر شکل مواد
۲۰۱۱	Ramzy and Fayed	بررسی سیستم‌های کینتیک کنترل محیطی	✓ سیستم‌های واحدهای پوسته ✓ عناصر جمع‌شونده ✓ ساختمان‌های چرخنده و گردان ✓ سیستم‌های بیومکانیکی
۲۰۱۲	Lee	دسته‌بندی سازه‌ها یا اجزای کینتیک که تحرک، مکان و/یا هندسه متغیر واقعی دارند	✓ سازگار ✓ کینتیک ✓ پاسخگو ✓ قابل تغییر
۲۰۱۲	Fouad	ارزیابی روندهای معماری کینتیک و همچنین مقایسه کاربردهای مختلف کینتیک در حوزه معماری	✓ تعبیه شده ✓ قابل استقرار ✓ پویا (Fouad, 2012: 31)
۲۰۱۳	Oungrinis	دسته‌بندی تکنیک‌های کینتیک و مناسب بودن مکانیسم‌ها برای سازه‌های قابل تبدیل- سازگار	✓ اجزای ساختمانی که قابلیت تغییر شکل را می‌توان بر آن‌ها اعمال کرد ✓ تبدیل قطعات جانبی
۲۰۱۴	Kronenburg	کاوش مسائل فلسفی و تکنیکی برآمده به وسیله نمونه‌های اولیه تجربی و آینده نگرانه	✓ ساختمان‌های قابل حمل و جابجایی ✓ معماری قابل تخریب و موقت
۲۰۱۷	Megahed	بررسی گونه‌شناسی، دسته‌بندی، و استراتژی طراحی کینتیک	✓ رویکرد ایستا ✓ رویکرد پویا
۲۰۱۹	تقی‌زاده، متینی و کاکویی	بررسی ساختارهای انعطاف‌پذیر به عنوان جایگزین مناسب مکانیزم صلب	✓ مکانیسم صلب پیکر ✓ مکانیسم انعطاف‌پذیر o مکانیزم دوپایا o مکانیزم اوریگامی o مکانیزم چتری (تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱-۴۵)
۲۰۲۰	Aleksandra Ćurčić	بررسی نماهای کینتیک به عنوان عناصر معماری معاصر و پایدار	✓ نماهای کینتیک تحت کنترل کاربر ✓ نماهای کینتیک کنترل نور ✓ نماهای کینتیک کنترل انرژی ✓ نماهای کینتیک واکنش‌دهنده به باد (Ćurčić, 2020: 148-149)

٤- روش تحقیق

مطالعه پیش‌رو یک تحقیق کیفی است که با استفاده از روش پژوهش توصیفی- تحلیلی و در مروری نظام‌مند به بررسی ادبیات نظری موجود در زمینه معماری کینتیک و مفاهیم وابسته به آن و دسته‌بندی‌های موجود در زمینه سیستم‌های کینتیک به صورت مطالعات کتابخانه‌ای پرداخته است. به این منظور در مرحله اول برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات اولیه، پایگاه‌های معتبر علمی و پژوهشی به ویژه پایگاه‌های گوگل اسکالر[۶]، اسکوپوس[۷] و پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی[۸]، با کلید واژه‌های: " معماری کینتیک"، "سیستم‌های کینتیک"، "سیستم‌های متحرک" و "پوسته‌های متحرک" در بازه ده ساله اخیر یعنی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ مورد جستجو قرار گرفتند.



نمودار۱. منابع یافت‌شده در پایگاه‌های جستجوی علمی مطابق کلیدواژه‌های ذکر شده در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ (مأخذ: نگارندگان)

در مرحلهٔ بعد به بررسی و مقایسه فاکتورهای تاثیرگذار در دسته‌بندی‌های موجود پرداخته شد و ضمن تحلیل فرایند طراحی سیستم‌های کینتیک جهت شناخت عمیق‌تر آن‌ها، به ارائهٔ دسته‌بندی جدیدی در جهت یکپارچه‌سازی طبقه‌بندی‌های پیشین اقدام گردید.

۵- مبانی نظری

مفاهیم بسیاری وجود دارند که با معماری کینتیک مرتبط هستند و یا برای توصیف ساختمان‌ها با اجزا یا قطعات متحرک استفاده می‌شوند، از قبیل معماری هوشمند، معماری تعاملی، معماری پاسخگو، و معماری سازگار یا انطباقی، معماری قابل تبدیل و غیره که ممکن است یکسان به نظر برسند، اما هر یک از آن‌ها بر روی نکته و هدفی خاص برای دست‌یابی به هدفی ویژه متمرکز هستند، البته از نظر زوک و کلارک این مفاهیم ممکن است در بسیاری موارد همپوشانی داشته باشند و یک ساختمان در بیش از یکی از این دسته‌ها جای گیرد (Megahed, 2017: 3). اهم این مفاهیم و ارتباط میان آن‌ها به صورت کلی در جدول ۲ و شکل شماره ۱ آمده است.

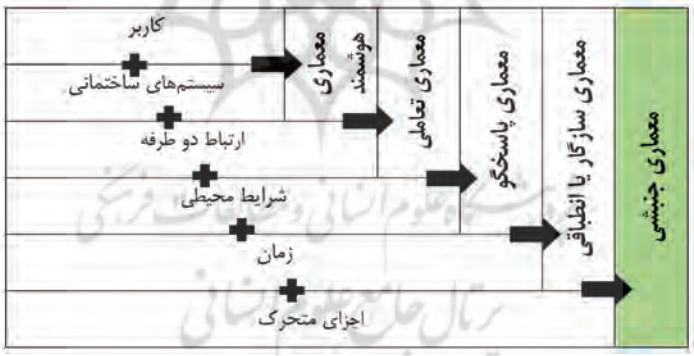
جدول ۲. مفاهیم مختلف مرتبط با مفهوم حرکت در معماری (مأخذ: نگارندگان)

مفهوم	معرفی کلی و تعاریف ارائه شده
معماری هوشمند[9]	این مفهوم برای کنترل و مدیریت ساختمان‌ها با برقراری ارتباط بین سیستم‌های ساختمان و کاربر ارائه شد. منظور از سیستم‌های ساختمانی کلیه سیستم‌هایی است که یک ساختمان را کنترل می‌کنند مانند: تهویه مطبوع، سیستم‌های مکانیکی، سازه‌ای، کنترل روشنایی، کنترل دسترسی، امنیت، مدیریت ساختمان، تعمیر و نگهداری، شبکه محلی، و مدیریت انرژی (Sherbini & Krawczyk, 2004: 138).
	سازه‌هایی که توانایی یادگیری و همچنین پاسخگویی به موقع با توجه به اطلاعات پردازش شده‌ی اندازه‌گیری شده از محیط خارجی یا داخلی را توسط ردیاب‌ها و منابع اطلاعاتی چند ورودی دارند تا بتوانند نیازهای کاربران را برآورده کنند (Megahed, 2017: 4).
	فرم‌های ساخته شده‌ای که سیستم یکپارچه‌شان قادر به پیش‌بینی و پاسخگویی به پدیده‌های داخلی و خارجی که برعملکرد ساختمان و ساکنان آن تاثیر می‌گذارد هستند (Kroner, 1997: 386).
معماری تعاملی[10]	معماری تعاملی به عنوان یک رابط تعاملی بین انسان و کامپیوتر و بر اساس ارتباط دو طرفه بین اجزای ساخته شده در وهله اول و بین افراد و اجزای ساخته شده در وهله دوم مطرح می‌شود. در این‌جا ساختمان به عنوان یک محفظه در نظر گرفته می‌شود که فضایی را تعریف می‌کند که از برخی فعالیت‌ها پشتیبانی می‌کند و افراد به عنوان یک مشارکت کننده با سیستم سروکار دارند نه کاربر (Fox & Kemp, 2009: 13; Moloney, 2011: 30).
معماری پاسخگو[11]	معماری پاسخگو به عنوان یک سیستم ساختمانی تغییرشکل‌دهنده فعال که پاسخی به شرایط محیطی و فعالیت‌های کاربر است تعریف می‌شود. این ساختارها از قاب‌ها، سیستم‌ها و پوسته‌های هوشمند تشکیل شده‌اند و پاسخ ساختمان به صورت تغییر در شکل و خصوصیات فیزیکی آن با شبیه‌سازی عملکردهای بیونیک سیستم‌های انسانی و طبیعی است (Pan & Jeng, 2008: 285-292).
	سازه‌هایی که برای پاسخگویی به شبیه‌سازی اجتماعی و یا محیطی در یک مکان خاص در مرحله طراحی یک پروژه طراحی شده‌اند (Megahed, 2017: 4).
	تغییرات پویا در پوشش خارجی ساختمان و فضاهای داخلی با توجه به نیازهای ساکنان و همچنین استفاده گسترده از مواد جدید هوشمند که باعث افزایش کارایی سیستم‌های کنترل موجود می‌شوند (Zerefos et al., 2000: 246).
معماری سازگار یا انطباق‌پذیر[12]	مفهوم فضای سازگار به این معنی است که به طور انطباق‌پذیری نسبت به کلیه فعالیت‌های بشری اعم از سکونت، اوقات فراغت، آموزش، پزشکی، تجارت و صنعت واکنش نشان می‌دهد، و قابلیت پاسخگویی به پارامترهای مختلف را با توجه به زمان دارد و این بدان معناست که زمان فاکتوری اساسی در مفهوم سازگاری محسوب می‌شود. اصطلاح سازگاری، از یک فضای داخلی چند منظوره که مجددا سازمان یافته تا سازه‌ای که توانایی تغییر و پاسخ برنامه‌ریزی شده‌ای دارد را در بر می‌گیرد (Fox & Yeh, 2000).
	سازه‌هایی که طراحی شده‌اند که به راحتی تغییر یافته یا اصلاح شوند تا بتوانند با کارکردهای مختلف اجتماعی قبل و بعد از سکونت متناسب شوند. پروژه‌های سازگار عموما مسکونی یا دارای انگیزه اجتماعی هستند و غالبا از طریق سیستم‌های دیواری متحرک انجام می‌شوند (Megahed, 2017: 4).

ادامهٔ جدول ۲. مفاهیم مختلف مرتبط با مفهوم حرکت در معماری (مأخذ: نگارندگان)

معماری مبتنی بر عملکرد[۱۳]	ساختارها و سازه‌هایی که از فناوری‌های دیجیتال برای به چالش کشیدن نحوه طراحی محیط ساخته شده استفاده می‌کنند، در حالی که به محیط، کاربر و جامعه سود می‌رسانند (Megahed, 2017: 4).
معماری قابل استقرار[۱۴]	سازه‌هایی که می‌توانند برای حمل و نقل یا ذخیره‌سازی تاشوند باید توجه داشت که بین معماری قابل استقرار و معماری قابل حمل تفاوت وجود دارد. ساختارهای قابل استقرار به طور مستقل قادر به تغییرات عمده در پیکربندی هستند (Megahed, 2017: 4).
معماری قابل حمل/ معماری قابل تبدیل[۱۵]	سازه‌هایی که قادرند به سرعت اشکال، فرم‌ها، عملکردها، یا ویژگی‌های جدیدی را به صورت کنترل شده به وسیله تغییر در ساختار، پوسته، و یا سطوح داخلی متصل به وسیله مفاصل بند بند قبول کنند. پروژه‌های قابل تغییر معمولا کمتر از تامین نیازهای عملکردی پروژه بر تاثیرات زیبایی‌شناسی آن متمرکز هستند (Megahed, 2017: 4).
معماری متحرک[۱۶]	سازه‌های پیش‌ساخته‌ای که در کارخانه روی یک شاسی دائمی ساخته می‌شوند و سپس به سایت منتقل و نصب می‌گردند (Megahed, 2017: 4).
معماری کینتیک[۱۷]	مفهوم معماری کینتیک، طراحی ساختمان‌هایی با عناصر قابل تغییر و خودکار است به گونه‌ای که شکل ساختمان برای هماهنگی با نیازهای مردم و مطابقت با شرایط محیطی تغییر می‌کند (Nashaat & Waseef, 2018: 751).

نشاط و واسیف[۱۸] در پژوهش خود تحت عنوان "معماری کینتیک: مفاهیم، تاریخچه و کاربردها" به برخی از مفاهیم مرتبط با جنبش در معماری، عناصر کلیدی و کاربردهای آن‌ها می‌پردازند و رابطه بین آن‌ها را به صورت زیر تعریف می‌کنند:



شکل ۱. ارتباط مفاهیم مختلف مرتبط با معماری کینتیک (Nashaat & Waseef, 2018: 756)

– معماری کینتیک

مطابق لغت‌نامه انگلیسی آکسفورد، اصطلاح Kinetic از واژه یونانی Kinesis ریشه می‌گیرد که به معنای حرکت کردن است و معمولا به معانی متعددی در ارتباط با زمینه‌های مختلف علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعاریف متعددی برای معماری کینتیک از سوی اندیشمندان و پژوهشگران معماری ارائه گردیده است که در ادامه (جدول ۳) به مرور برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

جدول ۳.تعاریف مختلف معماری کینتیک (مأخذ: نگارندگان)

اندیشمند	تعریف
نشاط و واسیف	مفهوم معماری کینتیک، طراحی ساختمان‌هایی با عناصر قابل تغییر و خودکار است به گونه‌ای که شکل ساختمان برای هماهنگی با نیازهای مردم و مطابقت با شرایط محیطی تغییر می‌کند (Nashaat & Waseef, 2018: 751)
لی[۱۹]	ساختمان‌ها، سازه‌ها، یا اجزا با تحرک، موقعیت مکانی، و یا هندسه متغیر قابل درک یا واقعی (Lee, 2012: 57).
کیرکگارد و سورنسن[۲۰]	معماری کینتیک می‌تواند شامل ساختمان‌ها یا سازه‌هایی با هندسه و یا حرکت متغیر باشد، ساختمان‌هایی با فرم نرم با ظرفیت تبدیل که توسط سازه‌های غشایی یا سازه‌های شبکه کابلی پنوماتیک و نیز ساختمان‌های صلب پیکر متشکل از مواد صلب که به وسیله مفاصل به یکدیگر متصل شده‌اند ساخته شده‌اند و قابلیت استقرار، تاشدن، گسترش، چرخش و لغزش را دارند (Kirkegaard & Sorensen, 2009: 2382).
ترزیدیس[۲۱]	ادغام حرکت در محیط ساخته‌شده و تاثیری که چنین نتایجی بر زیبایی، طراحی و عملکرد ساختمان‌ها می‌گذارد (Sanchez-del-Valle, 2005: 131).
هابرمن[۲۲]	امکان حرکت برای ایجاد محیط‌های تغییرشکل‌دهنده، عناصر ساختمانی پاسخگو، یا فضاهای عمومی تعاملی (Sanchez-del-Valle, 2005: 131).
فاکس و کمپ[۲۳]	معماری کینتیک به طور کلی به عنوان ساختمان‌ها و یا اجزای ساختمانی دارای تحرک، مکان و یا هندسه متغیر تعریف می‌شود. این تغییرات ممکن است به وسیله تاشدن، لغزش، گسترش و تغییر در اندازه و شکل، از طریق ابزارهای بادی، شیمیایی، مغناطیسی، طبیعی یا مکانیکی صورت گیرد (Lee, 2012: 57).
زوک و کلارک[۲۴]	معماری که آزاد است که با تغییرات حاصل از اعمال مجموعه فشارهای وارد بر آن سازگار شود و تکنولوژی که ابزار مناسبی جهت تفسیر و اجرای این فشارها را فراهم می‌کند (Sanchez-del-Valle, 2005: 130).

۶- یافته‌های تحقیق

— ویژگی‌های اساسی سازه‌های کینتیک

جدول ۴ به مقایسه ویژگی‌های اساسی سازه‌های کینتیک مطابق تعاریف زوک و کلارک (۱۹۷۱) و میشل فاکس (۲۰۰۳) می‌پردازد:

جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های سازه‌های کینتیک مطابق با تعریف زوک و کلارک و فاکس (Sanchez-del-Valle, 2005: 132)

زوک و کلارک	فاکس
توسعه زمان محور	شرایط عملکردی/ تعامل انسانی
مکانیزم‌های کنترل پویا	کنترل سازگار و انطباقی
سیستم‌های قدرت و مصرف برق	-
جنبش شناسی	عملکرد کینتیک
مواد	مواد جدید

– فرآیند طراحی معماری کینتیک و استراتژی‌های آن

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد معماری کینتیک حاصل پیوند مفاهیم میان رشته‌ای و نیازمند تخصص‌های چند رشته‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله مهندسی سازه، معماری، مکانیک، مواد، کنترل و غیره است، که از پاسخ‌های چند بعدی به نیازهای عملکردی و غیر عملکردی سازه قبل، حین و بعد از حرکت نشات می‌گیرد. لذا منطقی می‌نماید که پیش از اقدام به انجام یک پروژه در ارتباط با معماری کینتیک، عناصر کلیدی و مراحل آن را تعریف کنیم. در اینجا به بررسی یک روش پیشنهادی جهت تبیین فرآیند طراحی کینتیک و استراتژی‌های آن از سوی نجلا علی مگاهد خواهیم پرداخت که فازهای اصلی و عناصر معماری کینتیک را نشان می‌دهد. این استراتژی‌ها بر اساس کارهای الخیاط (۲۰۱۳)، آصفی (۲۰۱۰)، آصفی و فروزنده (۲۰۱۱)، فواد (۲۰۱۲)، کنیپر و دیگران (۲۰۱۲) شکل گرفته است. وی پنج استراتژی طراحی برای معماری کینتیک مطرح می‌کند.

الف. تولید طرح: مرحله طراحی معماری یک مرحله اساسی در فرآیند معماری کینتیک به شمار می‌رود ومربوط به نحوه برخورد معمار با جنبه‌های ظاهری طراحی است که جهت و روش مراحل بعدی را با پیشنهاد کانسپت، مدول و ریخت‌شناسی مشخص می‌کند (Hosseini et al., 2019: 190).

- کانسپت: یک سازه کینتیک باید به شکلی زیبا طراحی شود به گونه‌ای که نمونه مناسبی از تلفیق هنر، معماری، علم و عملکرد تلقی گردد. در این مرحله طراح به یافتن ارتباطات یا الگوهای بین ایده‌های انتزاعی و ترکیب آن‌ها باهم برای شکل دهی به یک تصویر منسجم می‌پردازد. کانسپت اصلی طراحی کینتیک ایده‌ای برای تغییر از حالت ایستا به پویا فراهم می‌کند (Hosseini et al.,2019: 190; Megahed, 2017: 12).
- مدول: مرحله دوم تولید طرح به مدل‌سازی و ساخت اجزای مدولار بر اساس کانسپت طراحی کینتیک اختصاص دارد. باید توجه داشت که یک مدول ساده بهترین گزینه برای دستیابی به یک فرآیند حرکت کارآمد است.
- ریخت‌شناسی: این مرحله شامل تبدیل کانسپت طراحی به یک طرح تجسم یافته واقعی با بررسی جزئیات فرم و ساختار و ترسیم آن است (Megahed, 2017: 12).

ب. مکانیزم (نوآوری): این استراتژی مربوط به حرکات و تکنولوژی با هدف ایجاد حرکت است که از کنترل ذاتی به مفهوم هندسه و خصوصیات مواد و کنترل خارجی به معنی حسگرها و محرک‌ها حاصل می‌شود. بنابراین، مکانیزم ابتکاری برای سازه‌های کینتیک به وسیله ترکیب ریخت‌شناسی و سیاست‌های کنترل محقق می‌شود (Hosseini et al., 2019: 190-191).

- حرکت: در این مرحله طراح باید قسمت‌هایی از پروژه که قرار است متحرک باشند را تعیین کند مانند عناصر نمای کینتیک، عناصر داخلی متحرک، سقف و دیوارهای کینتیک، قسمت‌هایی از سازه و حتی کل ساختمان.
- تکنولوژی: شامل تعیین سیستم محاساباتی تعبیه شده مناسب اعم از سیستم‌های ساده و پیچیده متصل به سنسورها، ردیاب‌ها و رایانه‌ها است. علاوه براین مکانیزم کنترل مناسب نیز در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد که به موجب آن‌ها کنترل‌های دستی یا خودکار برنامه‌ریزی شده به کاربران امکان می‌دهد که تنظیمات را با توجه به نیازها و خواسته‌های خود تغییر دهند(Megahed, 2017: 12).

ج. منطقی‌سازی (ارزیابی): این استراتژی مربوط به تبدیل طرح‌های مفهومی به طرح‌های منطقی است که با یک سازه و مکانیزم پشتیبان بهم متصل شده‌اند. در این استراتژی به این مساله پرداخته می‌شود که آیا یک سیستم کینتیک الزامات و مشخصات پروژه و هدف مورد نظر را برآورده می‌کند یا خیر.

- تایید: شامل تایید اسناد، طرح‌ها، کدها و برنامه‌هاست و پیش از اعتبارسنجی صورت می‌گیرد.
- اعتبارسنجی: مکانیزم پویای آزمایش محصول واقعی است که بسته به نوع آزمایش مورد نیاز تکنیک‌ها و روش‌های بسیاری دارد (Megahed, 2017: 13).

د. تحقق: این استراتژی تصمیمات را با توجه به مراحل ساخت و بهره برداری اعم از انتخاب مواد و سیستم‌های سازه‌ای را انتخاب می‌کند تا از صحت عملیات ساخت و ایمنی آن اطمینان حاصل کند.

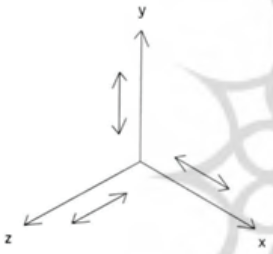
- ساختار: از آن‌جایی که یک سازه کینتیک برای دستیابی به تنظیمات پایدار در طی فرآیند حرکت و مراحل مختلف آن طراحی می‌شود، انتخاب ماده سبک، کارآمد و مناسب از جنبه‌های ساختاری، کاهش وزن ساختمان و تسهیل روند مونتاژ یک فرآیند حیاتی به شمار می‌رود.
- عملیات: در محیط واقعی ساخت و ساز عملیات گوناگونی انجام می‌شود که جهت سهولت اجرا و حمل به سازه‌های کینتیک نیاز دارند. این امر زمانی می‌تواند با اطمینان حاصل شود که مرحله مدول سازی با موفقیت مورد بررسی قرار گیرد. به علاوه بر این، سادگی جزئیات و مکانیزم ساخت این امر را برای سازه محقق می‌سازد که در مکانی متفاوت، در مدتی کوتاه و با حداقل اتلاف، ساخته شود که به نوبه خود منجر به روان بودن روند اجرا و کاهش هزینه‌ها می‌گردد (Megahed, 2017: 13).

ه. مدیریت (سیاست‌گذاری) : معماری کینتیک به عنوان بخشی از فرآیندهای معماری جهانی، به منظور تضمین ایمنی کاربران و اطمینان از عملکرد مطلوب ساختمان از نظر معماری و سازه، به یک سیستم برنامه‌ریزی‌شده دقیق مدیریت و نگهداری نیاز دارد. همچنین باید توجه داشت که با توجه به ماهیت تغییر شکل در معماری کینتیک که شامل باز و بسته شدن مکرر سازه است، تنظیمات ویژه‌ای جهت حصول اطمینان از صحت مفاصل و حرکت روان سازه مورد نیاز است.

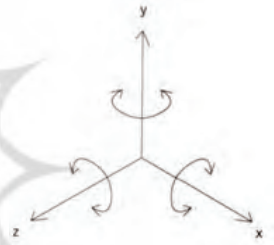
- تعمیر و نگهداری: استراتژی‌های نگهداری و مدیریت باید عملکرد موثر و کارآمد سازه را در دو حالت باز و بسته و در حین روند حرکت مدنظر قرار دهند. مکانیزم اتصال باید مقاوم بوده و اجازه دهد که حرکت مورد نیاز با حداقل نیاز به تعمیر و نگهداری صورت گیرد به گونه‌ای که منجر به کاهش طول عمر سازه نگردد.
- استفاده مجدد و کاهش هزینه‌ها: ساختمان‌ها غالبا از اجزای غیرقابل بازیافتی تشکیل می‌شوند که در صورت استفاده مجدد و یا تخریب ساختمان هزینه‌ها را افزایش داده و محیط را آلوده می‌کنند. لذا باید توجه داشت که یکی از ملاحظات اصلی طراحی برای ساختارهای کینتیک استفاده از مواد قابل بازیافت و غیرآلاینده است. همچنین سیستم انتخابی باید در جهت کنترل هزینه‌های ساخت، اجرا و نگهداری با دقت انتخاب شود (Megahed, 2017: 13).

– انواع مکانیزم حرکتی در سازه‌های کینتیک

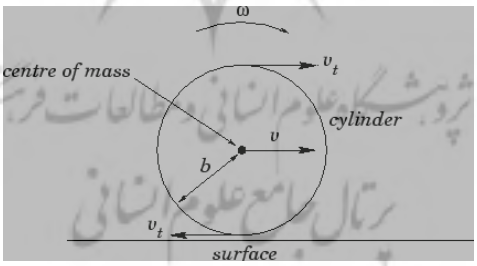
معماری متحرک شامل تعدادی از عناصر به هم وابسته و سازه های جابه جا شونده پویا است و همچنین متشکل از سازه،اتصالات،عملگرها،موارد و سیستم های کنترل است.با این حال،الزاماً همه موارد ذکر شده در ساختمان های متحرک،حرکت نمی کنند(افضلی و حمزه‌لو،۱۳۹۵). به طور کلی بر اساس محور حرکت و درجه آزادی، سه حرکت پایه قابل شناسایی است: دورانی، حرکت انتقالی، و انتقال - دورانی. حرکت دورانی زمانی رخ می‌دهد که یک جسم با چرخیدن حول محورهای مختصات تغییر جهت می‌دهد (شکل ۲)، حرکت انتقالی یک حرکت خطی است که به موازات محورهای مختصات تغییر جهت می‌دهد (شکل ۳) و حرکت انتقالی- دورانی (شکل۴) ترکیبی از دو حرکت قبل است. محورهای حرکت دارای سه درجه آزادی هستند (X,Y,Z) و ترکیبی از حرکات به این معنی است که یک اتصال می‌تواند یک تا شش درجه آزادی داشته باشد، یک درجه به عنوان لولای چرخشی ساده و شش درجه به عنوان یک مفصل دورانی فضایی. بسیاری از مکانیزم‌ها محدودیت‌هایی جهت کنترل حرکت و درجه آزادی دارند. به عنوان مثال حرکت مکانیکی در عناصر صلب محدود به سه حرکت پایه است که به طور کلی توسط مکانیزم‌های پایه‌ای صورت می‌گیرد که یک درجه آزادی دارند، یک لولا برای چرخش و یک ریل برای لغزش (Werner, 2013: 18).



شکل ۳- حرکت انتقالی (Werner, 2013: 18)



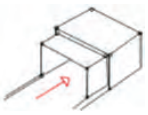
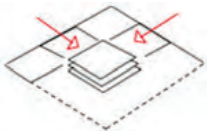
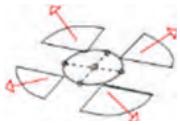
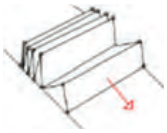
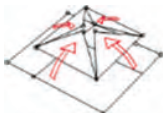
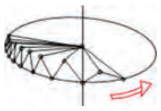
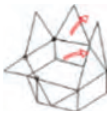
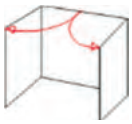
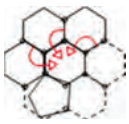
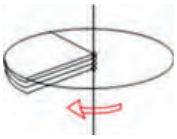
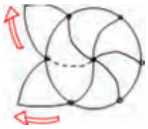
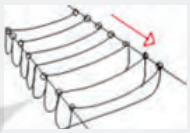
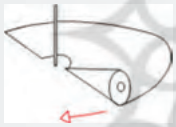
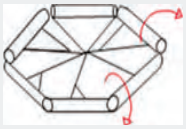
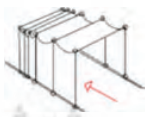
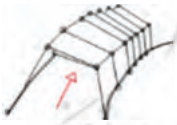
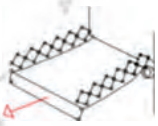
شکل ۲- حرکت دورانی (Werner, 2013: 18)



شکل۴- حرکت انتقالی- دورانی (Werner, 2013: 18)

در سال ۱۹۷۹، فریدمن کوگل[۲۵] انواع و جهت حرکت مربوط به سیستم‌های ساختمانی و به طور عمده سقف‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و آن‌ها را همراه با نمودار کینتیک مربوطه به صورت زیر ارائه نمود.

جدول ۵- دسته‌بندی روش‌های نوآوری سازه‌ای با انتقال هندسی در فضا بر اساس ترسیمات فریدمن کوگل (Werner, 2013: 19)

سیستم ساخت	نوع حرکت	جهت حرکت			
		موازی	مرکزی	مدور	پیرامونی
ساختارهای صلب (پنل‌های صلب یا بخش‌های ساختاری)	لغزش				
	تاشدن				
	چرخش				
غشایی، با سازه ساکن پشتیبان	جمع شدن یا دسته شدن				
	غلتیدن و رول شدن		-		
غشایی، با سازه متحرک پشتیبان	لغزش		-		-
	تاشدن				-
	چرخش	-	-		-

— رویکردهای مختلف در دسته‌بندی سیستم‌ها و معماری کینتیک

معماری کینتیک حوزه بسیار گسترده‌ای است که مفاهیم، رویکردها و روش‌های طراحی و کاربرد بسیاری را در برمی‌گیرد، و در نتیجه رویکردهای گوناگونی جهت دسته‌بندی سیستم‌های کینتیک از سوی محققان ارائه گردیده که بنابر دیدگاه و زمینه مطالعاتی ایشان متفاوت است(Megahed, 2017:3). این دسته‌بندی‌ها تا سال ۲۰۱۱ به طور معمول مطابق با پیکره بندی سیستم، حد و تکنیک‌های کنترل،

میـزان جنبـش، نحـوه بهره‌بـرداری ارائـه شـده‌اند. بایـد توجـه داشـت کـه انتخـاب نادرسـت و غیـر هوشـمندانه هـر یـک از ایـن سیسـتم‌ها می‌توانـد تبعـات منفـی، هـم در سیسـتم سـاختمانی و هـم در هزینه‌هـای تمـام شـده آن اعـم از هزینه‌هـای طراحـی، سـاخت و نگهـداری داشـته باشـد.

جدول ٦- انواع دسته‌بندی‌های موجود در رابطه با سیستم‌های کینتیک بر اساس رویکردهای گوناگون
بر پایه پژوهش انجام شده توسط رمزی و فاید (Ramzy and Fayed, 2011: 174-175)

رویکردهای دسته‌بندی سیستم‌های کینتیک	دسته بندی
بر طبق تکنیک‌های کنترل	✓ **کنترل داخلی:** هیچ کنترل مستقیم یا مکانیسمی مانند لولاهای مکانیکی ندارند. ✓ **کنترل مستقیم:** مستقیما به وسیله یک منبع انرژی خارج از دستگاه حرکت داده می‌شوند. ✓ **کنترل غیرمستقیم:** به سیستم بازخورد حسگر بستگی دارد. ✓ **کنترل غیرمستقیم پاسخگو:** به سنسورهای بازخورد چندگانه بستگی دارد. ✓ **کنـترل غیرمسـتقیم پاسـخگوی فراگیـر:** توانایـی پیش‌بینـی بـا اسـتفاده از شـبکه‌ای از کنترل‌هـا بـا الگوریتم‌هـای پیش‌بینـی را دارد. ✓ **کنـترل غیرمسـتقیم اکتشـافی پاسـخگو:** بـه شـبکه‌های واسـط الگوریتمیـک کـه دارای ظرفیـت یادگیـری هسـتند بسـتگی دارد (Nashaat and Waseef, 2018: 752; Moloney, 2011: 29).
مطابق با پیکربندی سیستم	✓ **سـازه کینتیـک گسـترش پذیـر** : ایـن دسـته از سـازه‌ها غالبـا در شرایـط موقتـی کاربـرد دارنـد و بـه سـهولت قابـل جابجایـی هسـتند و بـه طـور کلـی شـامل سـازه‌های گسـترش‌پذیر و قابـل تاشـدن هماننـد چادرهـا، سـازه‌های قابـل جابجایـی ماننـد خانه‌هـای سـیار و واحدهـای کپسـولی، سـازه‌های هوشـمند قابـل حرکـت و برخـی سیسـتم‌های آزمایشـی تغییرشـکل‌دهنده می‌باشـند (Fox & Yeh, 1999: 6) ✓ **سـازه هـاي کینتیـک دینامیکـی** : ایـن سیسـتم‌ها در داخـل یـک کلیـت معـماری بزرگـتر وجـود دارنـد امـا به‌صـورت مسـتقل و بـدون توجـه بـه کنـترل زمینـه بزرگـتر عمـل می‌کننـد و شـامل عنـاصر کینتیـک قابـل کنـترل، سیسـتم‌های گردشـی قابـل حرکـت (ماننـد سیسـتم پـارک اتومبیـل خـودکار) و سـازه‌های چرخنـده می‌شـوند (Ramzy and Fayed, 2011: 174). ✓ **سـازه هـاي کینتیـک جاسـازي شـده** : ایـن دسـته مربـوط بـه سیسـتم‌هایی اسـت کـه درون یکـی کلیـت بزرگـتر بـه صـورت ثابـت تعبیـه شـده‌اند و عملکـرد اولیـه آن‌هـا کنـترل سـاختمان در پاسـخ بـه عامل‌هـای متغیـر اسـت. ایـن سیسـتم‌ها ممکـن اسـت شـامل پوشـش‌های واکنش‌دهنـده (بـه شرایـط محیطـی خارجـی و فعالیت‌هـای داخلـی)، فضاهـای پیش‌بینـی کننـده بـا قابلیـت پاسـخگویی بـه نیازهـای متغیـر فضاهـای داخلـی، و سیسـتم‌های سـازه‌ای متعـادل کـه بـه صـورت کینتیـک بـه نیروهـای خارجـی واکنـش نشـان می‌دهنـد، باشـند (Ramzy and Fayed, 2011: 174).
بر طبق میزان جنبش	درجـه جنبـش در یـک سـاختمان بـه طـور گسـترده‌ای مطابـق بـا سـطح پیشرفتـه بـودن ماشـین‌ها و مکانیسـم‌های مـورد اسـتفاده در آن‌هـا متنوعنـد و می‌تواننـد از پنل‌هـای کشـویی و دیوارهـای چرخشـی گرفتـه تـا سیسـتم‌های پیشرفتـه‌ای کـه بـه صـورت خـودکار یـا دسـتی در جهـت تامیـن و مطابقـت بـا نیازهـای کاربـران موجـب تغییـرات عمـده در سـاختار پیکربنـدی سـاختمان می‌گردنـد، را در برگیرنـد. ✓ **حرکت جزئی** ✓ **حرکت کامل** ✓ **حرکت وابسته به واحدهای متحرک کوچک** (Ramzy and Fayed, 2011: 175).
بر طبق بهره‌برداری‌ها	✓ سیسـتم‌های مـورد اسـتفاده بـراي فراهـم سـاختن امـکان اسـتفاده از سـاختمان در مـکان هـاي مختلـف، هماننـد خانـه هـاي سـیار و خانه‌هـاي متحـرك ✓ سیسـتم‌های مـورد اسـتفاده بـراي فراهـم سـاختن امـکان برقـراری سیرکولاسـیون راحت‌تـر (عمـودي و افقـی) در داخـل سـاختمان‌ها هماننـد آسانسـورهاي هوشـمند ✓ سیسـتم‌های مـورد اسـتفاده بـراي فراهـم سـاختن امـکان کنـترل محیطـی بهـتر و تعامل‌هـاي بیشـتر مابیـن سـاختمان و زمینـه، هماننـد سـاختمان‌هاي چرخنـده یـا بام‌هـاي واکنشـی ✓ سیسـتم‌های مـورد اسـتفاده بـراي فراهـم سـاختن امـکان انعطاف‌پذیـري بیشـتر و اجـراي بهـتر در فضاهـاي داخلـی، هماننـد تقسـیم‌کنندگان فضایـی (پارتیشـن) قابـل انتقـال و مبلـمان چنـد منظـوره دائمـی (Ramzy and Fayed, 2011: 174).

رمزی و فاید در پژوهش خود تحت عنوان " سیستم‌های کینتیک در معماری: رویکردی نوین برای سیستم‌های کنترل محیطی و ساختمان‌های حساس به زمینه " در سال ۲۰۱۱ با ترکیب کلیه این موارد و لحاظ کردن فاکتور هزینه‌های تمام شده سیستم دسته‌بندی جدیدی (مطابق جدول ۷) در راستای بهبود عملکرد محیطی ساختمان‌های کینتیک پیشنهاد کردند.

جدول ۷- دسته‌بندی پیشنهادی رمزی و فاید (مأخذ: نگارندگان)

دسته بندی	توضیحات	ویژگی‌ها	
سیستم‌های واحدهای پوسته	✓ نماهای پاسخگو/ تعاملی: از سیستم‌هایی تشکیل شده که متناسب با شرایط خارجی و هدف تعریف شده برای آن‌ها واکنش نشان می‌دهند. در برخی سیستم‌ها نیز می‌توان تعریف **کرد که متناسب با وقایع پیرامون ساختمان از جمله جنش عابران حول ساختمان واکنش نشان دهد.** ✓ **پوسته فروزان: پوسته خارجی بنا که از واحدهای فلزی تشکیل شده و به گونه‌ای برنامه‌نویسی شده‌اند که با حرکت خورشید حرکت کرده و تابش خورشیدی را در طول روز منعکس کنند.** ✓ **لوورهای قابل حرکت: متشکل از لوورهای آلومینیومی یا فیبری که به صورت دستی یا خودکار قابل حرکت بوده و در طول** روز کاربران را در جبهه جنوبی بنا از اثرات خیرگی شدید تابش خورشید محافظت می‌کنند(Ramzy and Fayed, 2011: 176).	جنبش شناسی	محدود شده
		تکنیک کنترل	مستقیم یا واکنشی
		پیکره‌بندی سیستم	جاسازی شده
		حدود کنترل	جزئی
		هزینه	کم
عناصر جمع‌شونده	شامل عناصر معماری جمع‌شونده می‌شود که امکان تاشدن و یا گسترش یافتن به عنوان یک عنصر یکپارچه و مطابق با نیاز استفاده‌کنندگان را دارا بوده و منجر به تغییرات عمده در پیکربندی ساختمان می‌شوند. از نمونه‌های قابل ذکر برای این دسته می‌توان به سیستم سقفی تاشو و زمین بازی کشویی استادیوم دانشگاه فونیکس و سیستم سقفی تاشو محوطه بازی تنیس روتنبام اشاره کرد (Ramzy and Fayed, 2011: 176).	جنبش شناسی	متوسط
		تکنیک کنترل	داخلی یا مستقیم
		پیکره‌بندی سیستم	جاسازی شده
		حدود کنترل	متوسط
		هزینه	متوسط
ساختمان‌های چرخنده و گردان	شامل ساختمان‌هایی است که قابلیت چرخیدن حول محور خود یا در طول مسیری مشخص را دارند. این ساختمان‌ها می‌توانند از نیروی باد و یا انرژی خورشیدی استفاده کرده و برای فضاهای مختلف ساختمان امکان دیدهای متنوع را فراهم می‌سازند. خانه آفتاب‌گردان، اقامتگاه زمان در دبی و ویلا جیراسوله از نمونه‌های قابل ذکر این دسته به شمار می‌روند (Ramzy and Fayed, 2011: 176).	جنبش شناسی	عمده
		تکنیک کنترل	مستقیم یا واکنشی
		پیکره‌بندی سیستم	دینامیکی
		حدود کنترل	قابل توجه
		هزینه	زیاد
سیستم‌های بیومکانیکی	سیستم‌هاي بیومکانیکی سازه‌هاي کینتیک دینامیکی یا سازه‌هاي کینتیک تعبیه شده‌ای هستند که ممکن است به صورت کینتیک در واکنش به برخی نیروهاي داخلی یا خارجی وارده یا اندازه‌گیري شده توسط سیستم حسگرها، خود را مطابقت دهند. این سازه ها، غایت نهایی سیستم‌هاي کینتیک را نشان می‌دهند، بطوریکه داراي پایایی و نیز انعطاف پذیري سیستم‌های بیولوژیکی بوده و امکان دارد که اجازه امکانات نامحدود کینتیک در همه جنبه‌ها را بدهند (Ramzy and Fayed, 2011: 176).	جنبش شناسی	متغیر
		تکنیک کنترل	غیرمستقیم واکنشی
		پیکره‌بندی سیستم	دینامیکی یا جاسازی شده
		حدود کنترل	متغیر
		هزینه	بسیار زیاد

در سال ۲۰۱۷ نجلا علی مگاهد با بررسی انواع دسته‌بندی ارائه شده تا آن زمان در زمینه سیستم‌های کینتیک، اقدام به تدوین چارچوبی مفهومی در زمینه معماری کینتیک نمود (جدول ۸). از دید وی رویکردهای مختلف حرکت در معماری از جنبه فیزیکی به دو دسته عمده طبقه‌بندی می‌شوند: رویکرد ایستا و رویکرد پویا.

- **رویکرد ایستا**

این رویکرد به طور کلی به دنبال تاثیرات زیبایی‌شناختی است و شامل حرکت واقعی نیست بلکه منعکس‌کننده چیزی است که می‌توان آن را حرکت مجازی در نظر گرفت. حرکات در طی فرآیند طراحی با استفاده از خطوط و مدل‌های پارامتریک اعمال می‌شوند و فقط در همین مرحله امکان اعمال تغییرات را می‌دهند (El Razaz, 2010: 344). مدل‌های پارامتریک زیادی در معماری وجود دارند که طراحان دیجیتال را قادر به طراحی و ایجاد سازه‌های پیچیده‌تری می‌کنند که در راستای حفظ زیبایی‌شناسی مدرنیته حرکت مجازی را ارائه می‌دهند. با تنظیم و کنترل منطقی مدل‌های پارامتریک می‌توان تنوع گسترده‌ای از انواع طراحی را ایجاد نمود (Megahed, 2017: 4).

- **رویکرد پویا**

حرکت پویا شامل تلفیق تکنولوژی‌های جدید در ساختمان‌هایی است که در آن‌ها سازه‌های مکانیزه قابل تغییر با توجه به شرایط آب‌وهوایی، نیاز و یا هدف تغییر می‌کنند. مکانیزم‌های بسیاری وجود دارند که منبع غنی از استراتژی‌های طراحی کینتیک را پیش روی معماران قرار می‌دهند. به علاوه، از دیدگاه جنبش شناسی تغییر شکل ماده نیز می‌تواند به عنوان یک دسته فرعی از حرکت پیچیده سیال در نظر گرفته شود (El Razaz, 2010: 344; Werner, 2013: 9).

الف- حرکت فضایی - حرکت واقعی

بر اساس محور حرکات و بسته به درجات آزادی چند دسته اصلی برای این حرکات وجود دارد که شامل تاشدن، لغزش، غلتیدن و رول شدن، گسترش و تبدیل می‌باشند. این حرکات به طور کلی توسط مکانیسم‌های پایه انجام می‌شوند و با ترکیب آن‌ها و تغییر در محور، جهت و قدرت می‌توان به تنوع وسیعی از حرکات پیچیده دست یافت (Megahed, 2017: 6).

ب- حرکت غیر فضایی - تغییر شکل مواد

این نوع حرکت بر اساس خاصیت تغییر شکل مواد صورت می‌گیرد. دستاوردهای تکنولوژیکی حاضر نسل جدیدی از مواد هوشمند را به وجود آورده است که قادر به تصمیم‌گیری و پاسخگویی به محیط هستند. این مواد به واسطه توانایی مولکول‌ها در پردازش محیط و واکنش به آن دچار تغییر در شکل یا عملکرد می‌شوند. ایجاد حرکت غیر فضایی با استفاده از مواد تغییر شکل‌پذیر در ساختمان‌ها از طریق تغییر در رنگ، درخشندگی، توپولوژی، بافت و نفوذپذیری، امکان‌پذیر می‌شود. در نتیجه با تغییر در این مواد تغییر ادراکی قابل توجهی رخ می‌دهد. بنابراین، این مواد که دارای خصوصیات محاسباتی هستند نقش مهمی در رفتار کینتیک دارند و می‌توانند روش‌های طراحی و تعامل ما را متحول کرده و تجربه کاربر را تحت تاثیر قرار دهند (Coelho, 2008: 23-25; Parkes, 2009: 47-48; Megahed, 2017: 6).

جدول ۸.دسته‌بندی معماری کینتیک بر اساس پژوهش مگاهد (Megahed, 2017: 6)

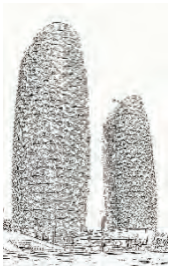
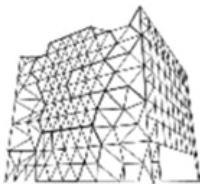
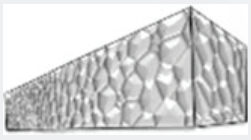
دسته‌بندی معماری کینتیک	سطح تغییرات	نوع حرکت	شیوه‌ها و ابزارها			هدف
رویکرد ایستا ← فقط در مرحله طراحی	تغییر در خطوط طراحی	**حرکت مجازی**	با استفاده از خطوط منحنی چندگانه و دایره و ویرایش آن‌ها از طریق ابزارهای ویرایشگر متنوع مانند: چرخش، کپی کردن، برش، افست، بازتاب و بسط			مبتنی بر زیبایی شناسی (دلایل مفهومی / کیفیت بصری)
رویکرد پویا ← با توجه به شرایط آب و هوایی، نیاز و هدف تغییر می‌کند	**فضایی** ← تغییر شکل در فضا	**حرکت واقعی:** تغییر شکل فضا متناسب با شرایط اقلیمی، نیازها و اهداف سازه و/ یا کاربر	استفاده از تکنولوژی و مکانیسم‌های متنوع	روش‌ها	✓ تاشدن ✓ لغزش کشویی ✓ پیچش ✓ گسترش ✓ تبدیل	مبتنی بر عملکرد (اهداف محیطی / کیفیت محیط داخلی)
				ابزار	✓ پنوماتیک یا بادی ✓ شیمیایی ✓ مغناطیسی ✓ طبیعی ✓ مکانیکی	
			بهره‌گیری از نوآوری‌های سازه‌ای		✓ ساختارهای صلب ✓ سازه‌های غشایی ✓ سازه‌های بادی	
	غیر فضایی ← طراحی فرم‌های سیال	**تغییر شکل مواد:** تغییر در رنگ، درخشندگی، توپولوژی، بافت و نفوذپذیری	پیشرفت مواد	روش‌ها	✓ رفتار ✓ مواد تغییر شکل‌دهنده	
				ابزار	✓ الکتریکی ✓ مغناطیسی ✓ نوری ✓ گرمایی ✓ مکانیکی ✓ شیمیایی	

مگاهد با بررسی نمونه‌های موردی مناسب و انطباق آن‌ها با سیستم‌های کینتیک مربوطه به تبیین دسته بندی پیشنهادی خود پرداخت که در جدول ۹ به اختصار مطرح شده است.

جدول ۹- بررسی نمونه‌های موردی و مطابقت آن‌ها با انواع سیستم کینتیک بر اساس کار مگاهد (Megahed, 2017: 8-9)

نوع سیستم کینتیک			نمونه موردی	عناصر کلیدی طراحی کینتیک	دیاگرام
رویکرد ایستا	ترسیم	خطوط یکپارچه	برج‌های رقصان دبی	این طرح شامل سه ساختمان است که به صورت خمیده بالا می‌روند و در هم می‌پیچند تا پویانمایی سیالی از فرم‌ها به نمایش بگذارند (El Razaz, 2010: 345).	
		دایره	ابر برج جدید شانگهای	آتریوم به منظور چرخش در اطراف هسته ساختمان طراحی شده است. به گفته گنسلر ، این «احساس حرکت و پویایی را تقویت می‌کند که نماد موفقیت شانگهای به عنوان یک شهر جهانی و ظهور چین مدرن است (El Razaz, 2010: 346).	
	ویرایش	کپی	مکعب / بیروت- لبنان	ایده برج بسیار ساده اما تاثیرگذار است. کپی کردن و افزودن کانسپت منجر به دستیابی به حداکثر ارتفاع مجاز برای تولید پلان طبقات انعطاف‌پذیر جهت بهینه‌سازی چشم‌اندازهای نفس‌گیر بیروت و مدیترانه می‌شود.	
		برش	برج هلال ماه / دبی- امارات	این سازه به صورت هلال، نمادی از انرژی و قدرت طراحی شده است. این ساختمان به شکل ماه، که به معنای واقعی کلمه خط افق را برش می دهد، جهت ارائه سمبل اصلی ایمان اسلامی پیشنهاد شده است.	
		افست	نمایشگاه و مرکز کنفرانس اسکاتلندی / گلاسکو- بریتانیا	پوسته خارجی از یک ماده ورقه‌ای تخت برای پوشش یک سری بدنه قاب‌دار که دور عناصر متفاوت را می‌پوشاند، استفاده می‌کند. این پوسته‌های روکش‌دار آلومینیومی که باهم همپوشانی دارند نیمرخ متمایزی در خط آسمان ایجاد می‌کند.	
		چرخش	برج الماس جده	این ساختمان مسکونی پیچ خورده که به آن برج الماس گفته می شود، دارای ۸۰ طبقه است و ساختاری دلپذیر و چشم نواز دارد که از روی زمین رشد می کند و به صورت یک حلقه به صورت ۳۶۰ درجه به دور خود می‌پیچد و اوج می‌گیرد و پویایی خود را به نمایش می‌گذارد (El Razaz, 2010: 352)	
		بازتاب	برج امارات / دبی - امارات	دو برج مجاور که به ترتیب ۳۵۵ متر و ۳۰۹ متر ارتفاع دارند، به صورت متقارن واقع شده‌اند تا نیمرخی نمادین تامین کنند.	
		بسط	ساختمان گرکن/ لندن- بریتانیا	سازه دارای یک قاب فولادی با پلان‌های دایره‌ای شکل و یک نمای شیشه‌ای است که در اصل یک میله کشیده، منحنی، با انتهای گرد است که یادآور یک تخم‌مرغ کشیده است.	

ادامهٔ جدول ۹. بررسی نمونه‌های موردی و مطابقت آن‌ها با انواع سیستم کینتیک بر اساس کار مگاهد (Megahed, 2017: 8-9)

رویکرد پویا	فضایی	صلب	برج گردان دبی / دبی- امارات	این برج به گونه‌ای طراحی شده است که بتواند خودپایدار باشد. تا حدود ۷۹ توربین بادی در هر طبقه نصب خواهد شد. هر طبقه به گونه‌ای طراحی شده که به طور مستقل به وسیله نیروی ژنراتور توربین بادی حول هسته می‌چرخد و منجر به تغییر شکل برج می‌شود.	
			برج‌های البحر / ابوظبی - امارات	دستگاه سایه بان این برج‌ها از مجموعه‌ای از اجزای شفاف تشکیل شده است که در پاسخ به مسیر حرکت خورشید باز و بسته می‌شوند. این دو برج بیش از ۱۰۰۰ محافظ خورشیدی منفرد دارند که توسط سیستم مدیریت ساختمان کنترل می‌شوند (Johnson, 2019: 2).	
		غشایی	غرفه موضوعی اتریش برای اکسپو ۲۰۱۲ / یوسو - کره جنوبی	نمای بیونیک با پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف شیشه کینتیک (GFRP). باز و بسته شدن لاملاهای متحرک به طور متوالی اجازه می‌دهد که رقص الگوهای شبیه موج در کل طول ساختمان ایجاد شوند.	
		بادی	ساختمان مدیا TIC / بارسلونا - اسپانیا	نماهای ساخته شده از بالشتک‌های هوای ETFE (اتیلن ترا فلورو اتیلن) که به صورت پنوماتیک سایه اندازی می‌کنند. بالشتک‌ها متشکل از سه لایه پلاستیک با دو محفظه هوا مابین آن‌ها هستند که در صورت لزوم می‌توانند باد کرده یا خالی از هوا باشند.	
	غیر فضایی	تغییر شکل ماده	مرکز ملی آبزیان (مکعب آبی) / پکن- چین	نماهای پویا بر اساس روکش ETFE به وسیله نزدیک به ۳۰۰۰ بالشتک پنوماتیک حباب مانند از هر سایزی توسط یک سازه قاب فولادی چندوجهی پشتیبانی می‌شوند. این بنا بر اساس تئوری حباب صابون ساخته شده است و در نتیجه نمای رسانه‌ای آن در نور خورشید مانند مروارید در آب می‌درخشد.	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

۷- نتیجه‌گیری

امکانات متنوع سیستم‌های کینتیک از قبیل امکان تغییر جهت برای فضاهای مختلف ساختمان، ارائه نماهای متنوع که هم از جنبه عملکردی و هم از نگاه زیبایی‌شناسی موثر و کارآمد عمل می‌کنند، کنترل مناسب دمای فضاهای داخلی و تابش خورشیدی و کاهش هزینه‌های تهویه هوا، امکان تعامل با کاربران و نیز محیط اطراف از دلایل جذابیت استفاده از معماری کینتیک برای پروژه‌های متعدد در سال‌های اخیر به حساب می‌آیند. این معماری می‌تواند شامل انواع گوناگونی از سیستم‌ها و ساختارها شود و بالطبع می‌توان دسته‌بندی‌های متنوعی برای آن متناسب با رویکرد طراحی، نوع نگاه پژوهشگر، هدف طرح و انواع شاخصه‌های اصلی سیستم‌های کینتیک، ارائه نمود. با وجود تمام این تمایزات و تفاوت‌ها، لیکن ایجاد یک ارتباط مفهومی بین این سیستم‌ها و اجزای آن‌ها، به منظور تعریف جایگاه و الزامات اساسی طرح‌های کینتیک، امکان‌پذیر خواهد بود. میزان و نوع حرکت، سطح تغییرات، میزان صلبیت یا انعطاف‌پذیری، هزینه‌های ساخت و نگهداری، محل حرکات، حدود و تکنیک‌های کنترل، پیکره‌بندی سیستم و میزان هوشمندی آن و نیز هدف طراحی و کاربرد آن‌ها از جمله فاکتورهایی هستند که می‌توانند بر دسته‌بندی سیستم‌های کینتیک تاثیرگذار بوده و به دنبال آن به طبقه‌بندی و گونه‌شناسی این معماری منجر گردد.

بر اساس آنچه از تحلیل داده‌های پژوهش حاصل می‌شود می‌توان دریافت که به طور کلی سیستم‌های پویا شامل کلیه سیستم‌هایی می‌شوند که به گونه‌ای نشان‌دهنده حرکت و پویایی هستند، چه این پویایی واقعی و به صورت فیزیکی جلوه کند، و چه اینکه ناشی از استفاده از فرم‌های سیال و پویایی بصری باشد (مانند آنچه در نقاشی‌ها و ترسیمات فوتوریسم جیاکومو بالا و یا در تابلوی شب پرستاره ونگوگ و نیز برج‌های رقصان دبی اثر زاها حدید می‌بینیم). حرکت واقعی نیز خود، هم می‌تواند به صورت حرکات فیزیکی و یا ترکیبی از آن‌ها رخ دهد و هم می‌تواند ناشی از تغییر در شکل، رنگ، بافت، درخشندگی و حتی تراکم ماده باشد.

ساختمان‌هایی که با سیستم‌هایی با حرکات فیزیکی واقعی طراحی و ساخته می‌شوند به راحتی قابل تشخیصند و بر اساس نوع ساختار مکانیکی و مکانیسم انتقال نیرو و جابجایی به سیستم‌های صلب‌پیکر و سیستم‌های انعطاف‌پذیر دسته‌بندی می‌شوند. سیستم‌های انعطاف‌پذیر نیز خود می‌توانند به سه دسته سیستم‌های باز و بسته شونده، سیستم‌های غشایی و سیستم‌های پنوماتیک تقسیم‌بندی شوند. این دسته‌بندی‌های فرعی را می‌توان در سطوح پایین‌تر نیز ادامه داد. دسته‌بندی کلی پیشنهادی نگارندگان در مورد سیستم‌های کینتیک از دیدگاه جنبش‌شناسی و با تکیه بر فاکتورهای مرتبط با آن از قبیل نوع و ماهیت حرکت و میزان انعطاف‌پذیری سیستم در ادامه مطابق با جدول شماره ۱۰ ارائه شده است. این دسته‌بندی را می‌توان با توجه به پیکره‌بندی سیستم، حدود و تکنیک‌های کنترل و بهره‌برداری از سیستم در زیردسته‌های فرعی دنبال نمود.

جدول ۱۰. دسته‌بندی پیشنهادی نگارندگان برای سیستم‌های ساختمانی پویا از نظر جنبش‌شناسی (مأخذ: نگارندگان)

سیستم‌های پویا	پویایی واقعی	• ناشی از حرکات فیزیکی	سیستم‌های انعطاف‌پذیر	سیستم‌های باز و بسته شونده: مکانیزم اوریگامی؛ سازه‌های قیچی‌سان؛ سازه‌های تلسکوپی؛ سازه‌های تاشو
				سیستم‌های پنوماتیک
				سیستم‌های غشایی
			سیستم‌های صلب‌پیکر	
		• ناشی از تغییر مواد (تغییرات در شکل، رنگ، بافت، درخشندگی)		
	پویایی مجازی ← با استفاده از ترسیمات و فرم‌های سیال			

همچنین یکی از مهم‌ترین مسائلی که در این پژوهش مد نظر قرار گرفت ارائه تعاریف مشترک و یکپارچه در مورد مفاهیم و اصطلاحات مربوط به معماری و سیستم‌های کینتیک و عناصر کلیدی آن‌ها در هنگام تعریف پروژه و یا پژوهش در این زمینه است. استفاده از تعاریف و دسته‌بندی‌های مشترک به پژوهشگران و معماران هنگام بررسی و پژوهش و یا برنامه‌ریزی یک طرح جدید کمک می‌کند.

نگاهی کلی به موضوعات مورد توجه معماران در سال‌های اخیر در زمینه معماری کینتیک نشان می‌دهد که علاقه و توجه بیشتری در زمینه امکانات کنترل محیطی و بهره‌وری انرژی و با تمرکز بر نماها و پوسته‌های ساختمانی وجود دارد و توجه به امکانات کینتیک عناصر فضایی داخلی متحرک در جهت ایجاد و توسعه انعطاف‌پذیری فضایی و پاسخگویی فضاهای داخلی به نیازهای کاربران و شرایط مختلف کمتر مورد توجه معماران و پژوهشگران قرار گرفته است که می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی در زمینه معماری کینتیک باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این پژوهش، بدین وسیله از سردبیر و ارکان محترم نشریه رف کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌نمایند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پی‌نوشت‌ها

1. William Zuk
2. Roger H. Clark
3. Frei Paul Otto
4. Santiago Calatrava
5. Chuck Hoberman
6. Google Scholar
7. Scopus
8. SID
9. Intelligent Architecture
10. Interactive Architecture
11. Responsive Architecture
12. Adaptable Architecture
13. Performance-based Architecture
14. Deployable Architecture

15. Transportable/Transformable Architecture
16. Mobile Architecture
17. Kinetic Architecture
18. Nashaat and Waseef
19. Lee
20. Kirkegaard and Sorensen
21. Terzidis
22. Hoberman
23. Fox and Kemp
24. Zuk and Clark
25. Friedmann Kugel

منابع

- افضلی، نرگس و حمزه لو، سارا،(۱۳۹۵)،تحرک در معماری و پارامترهای موثر در طراحی معماری کینتیک، چهارمین کنگره بین‌المللی عمران ، معماری و توسعه شهری، تهران

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

- Alkhayyat, J.M.J. (2013)Design strategy for adaptive kinetic patterns: creating a generative design for dynamic solar shading systems" Master Thesis, School Of Build Environment MSc Digital Architectural Design, University of Salford. pp53,56
- Asefi, M. and A. Foruzandeh. (2011). Nature and kinetic architecture: The development of a new type of transformable structure for temporary applications. Journal of Civil Engineering and Architecture 5(6), 513-526.
- Bier, H. and T. Knight. (2010). Digitally-driven architecture. Footprint: 1-4.
- Brookes, A., & Grech, C. (1992). Connections: studies in building assembly. Oxford: Butterworth Architecture. Oxford: Architectural Press
- Coelho, M. 2008. Materials of interaction: Responsive materials in the design of transformable interactive surfaces. Cambridge MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Ćurčić, A., Ćurčić, G. T., Matić, N., & Randelović, D. 2020. Kinetic facades as elements of contemporary and sustainable architecture. ICUP2020: 145- 152.
- El Razaz, Z. (2010). Sustainable vision of kinetic architecture. Journal of Building Appraisal 5(4): 341-356.
- Fouad, S. (2012). Design methodology: kinetic architecture. A Thesis presented to the Graduate School Faculty Of Engineering, Alexandria University In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science In Architectural Engineering.
- Fox, M. A. and B. P. Yeh.(2000). Intelligent kinetic systems in architecture. Managing interactions in smart environments, Springer: 91-103.
- Fox, Michael and M. K. (2009). Interactive Architecture (1th ed.). Princeton Architectural Press.
- Hosseini, S. M., et al. (2019). A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort. Building and Environment (153): 186-204.
- Johnson, A., Zheng, S., Nakano, A., Schierle, G., & Choi, J. H. 2019. Adaptive kinetic architecture and collective behavior: A dynamic analysis for emergency evacuation. Buildings 9(2): 44-55.
- Kirkegaard, P. H. and J. D. SORENSEN. 2010. Robustness analysis of kinetic structures. Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures (50th. 2009. Valencia). Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures: Proceedings, Editorial Universitat Politècnica de València.
- Knippers, J., et al. (2012. Kinetic media façade consisting of GFRP louvers. Proceedings of the 6th international conference on FRP composites in civil engineering (CICE 2012).
- Kronenburg, R. (2013). Architecture in motion: the history and development of portable building. Routledge.
- Kroner, Walter M. 1997. An intelligent and responsive architecture. Automation in Construction (6): 381-393.
- Lee, J. D. (2012). Adaptable, kinetic, responsive, and transformable architecture: an alternative approach to sustainable design. Presented to the Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin.
- Megahed, N. A. 2017. Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy. Architectural Engineering and Design Management 13(2): 130-146.

- Moloney, J. (2011). Designing kinetics for architectural facades: state change. Taylor & Francis.
- Nashaat, B., & Waseef, A. 2018. Kinetic architecture: concepts, history and aplications. International journal of science and research 7(4): 750-758.
- Otto, F., Burkhardt, B., Pankoke, U., & Wagner, J. (Eds.). (1972). Wandelbare Dächer.
- Oungrinis, K. A. (2013). Implementation of kinetic systems in architecture: A classification of techniques and mechanisms appropriate for discreet building parts. In Conference: International Conference on Adaptation and Movement in Architecture (ICAMA2013), Toronto Canada. Volume: Proceeding of International Conference on Adaptation and Movement in Architecture.
- Pan, C.-A. and T. Jeng. (2008). Exploring sensing-based kinetic design for responsive architecture.
- Parkes, A. J. (2009). Phrases of the kinetic: dynamic physicality as a dimension of the design process, Massachusetts Institute of Technology.
- Popper, Frank. (1968). Origins and Development of Kinetic Art. Translated by Stephen Bann. Greenwich, Conn.: New York Graphic Society.
- Popper, Frank. (1968). Origins and Development of Kinetic Art. Translated by Stephen Bann. Greenwich, Conn.: New York Graphic Society.
- Ramzy, N. and H. Fayed. 2011. Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. Sustainable Cities and Society 1(3): 170-177.
- Sanchez-del-Valle, C. (2005). Adaptive kinetic architecture: A portal to digital prototyping.
- Sherbini, K. and R. Krawczyk. (2004). Overview of intelligent architecture. 1st ASCAAD International conference, e-design in architecture Dhahran. Saudi Arabia: Citeseer.
- Trubiano, F. (2013). Design and construction of high-performance homes: building envelopes, renewable energies and integrated practice, Routledge.
- Werner, C. D. M. (2013). Transformable and transportable architecture: analysis of buildings components and strategies for project design (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Zerefos, S. C., & A. M. Kotsiopoulos, A. Pombortsis. (2000). Responsive Architecture: An Integrated Approach for the Future. Proceedings ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality: Washington D.C.
- Zuk, W. and Clark, R. H. (1970). Kinetic Architecture, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 14-30

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Recognition of Kinetic Architecture and Factors Affecting its Typology

Sajede Poorkhosravani[1] Sara Hamzehloo[2*]

Abstract

Broadly speaking, buildings are affected by many influential forces such as time, climate, performance, and human needs that are not static but dynamic and unstable. As a result, in the present age and ofcource future, it is essential to develop buildings that adapt to climate, energy and other factors of designing an architectural project. Kinetic architecture is a specific type of high-tech architecture that enables buildings to fit the project requirements, users' needs, environmental conditions (built environment and climate), and the time requirements, and create a variety of movements (both real, spatial, and virtual) in different system components such as shells and facades, interiors, structural components, and even the entire building. A review of the existing literature, both academic and professional, shows recent trends in research on kinetic architecture and its countless potentials in the field of architectural design. This architecture faces challenges due to interdisciplinary issues and the multiplicity of technologies involved, and of course advances in robotics, mechanics, electronics, and structures responsive to kinetic design are essential to this new approach. On the other hand, the lack of transparency about the definitions and concepts related to kinetic architecture has challenged the understanding and correct choice of such systems. Therefore, the purpose of this study is to provide common definitions for interdisciplinary concepts and provide a common theoretical and conceptual framework for designing kinetic architecture and classifying its types in accordance with the design goal, which can help to choose the appropriate kinetic system in each project. A thorough understanding of kinetic systems that are relevant to architecture and their usage is important, because it enables architects to think about the major aspects of kinetics and explore their potential for architectural applications. In this context, the research presents a methodology for the definition and classification of different terms, concepts, and approaches in kinetic architecture. This research method is descriptive-analytical and utilizes documentary and library studies reviews the definitions and concepts related to movement in architecture and examines the types of classifications presented by researchers and their approaches as well as the stages and strategies of kinetic design. These studies showed that by considering such things as the type of mechanism and location of movement, amount of movement, system structure, control techniques, and how to operate the building, various classifications for kinetic architecture can be provided, each of which is not responsible for offering the most practical classification. A comprehensive look at all of these will be helpful. This study also showed that in recent years there is an increasing tendency to research about and use kinetic systems to reduce energy consumption and utilizing it in the facade of the building. What is neglected in the field of kinetic architecture studies is research on the use of kinetic systems in the construction of Indoor spaces, structures and the use of movement potentials of indoor spaces in order to provide security and meet the other needs of users except for Thermal comfort, the flexibility of the space, providing a suitable and diverse view and perspective.

Keywords: Kinetic Architecture, Kinetic Systems, Movement Mechanism, Kinetic Design Process.

1. PhD student,Department of Architecture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Architecture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran (*Corresponding author)