

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

علی کارگر^۱، سعید خلیلی^۲، کیامهر خلیلی^۳

معماری ارگانیک و پژوهش در هنر مهندسی با الهام از طبیعت با سبک معماری بیونیک نمونه موردی طراحی پوسته معماری

چکیده

مفهوم پایداری در دهه ۱۹۷۰ میلادی، نتیجه آگاهی بشر نسبت به مسائل محیط زیست و مشکلات فرهنگی - اجتماعی و اقتصاد میباشد. یکی از مهمترین اهداف توسعه پایدار و معماری ارگانیک، حفظ طبیعت و اصلاح نگاه به آن است و تجلی توسعه پایدار در حوزه محیط ساخته شده، معماری پایدار نامیده میشود. آنچه که در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است، رویکرد معماری پایدار نسبت به مسائل محیطی است؛ هر چند که جدا کردن این موضوع از سایر جنبه های اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، کاری دشوار است. با اینکه نتایج بحرانهای امروزی به خوبی شناسایی شده اند. معماران و طراحان ساختمان معتقدند که طرح های الهام گرفته از طبیعت، می تواند به کاهش صدمات زیست محیطی ناشی از ساختمان ها کمک شایانی کند. گرم شدن زیست کره و پیامدهای آن و سهم غیرقابل انکار و قابل ملاحظه صنعت ساختمان در تشدید آن این سوال را در ذهن پدید می آورد که به راستی صنعت ساختمان چه می کند و به کجا می رود و بناهای آینده چگونه خواهند بود. باک مینیسترفولر (Buckminster fuller) زمانی در پاسخ به این سوال گفته است که "بهترین راه پیش بینی آینده، طراحی آن است". تصور این است که بناهای مسکونی و به طور کلی فضاهای زیستی آینده، در تعامل و همسازی تنگاتنگ و پویا با طبیعت شکل می گیرند و مانند یک موجود طبیعی عمل می نمایند. آنها تمامی نیازهای خود مانند انرژی، آب، هوا و غیره را از طبیعت پیرامون خود یعنی خورشید، باد و باران تامین خواهند نمود. معماری آینده از ماشین های قرن بیستم الگو نگرفته، بلکه از طبیعت و گل های زیبا فضای سبز و زنده پیرامون خود الهام خواهند گرفت. هنر مهندسی را در کامل ترین صورت خود در طبیعت می توان یافت. در طبیعت ساختارها لایه ای است و باربری شکل ساده کششی - فشاری دارد، با این همه تنوع و گوناگونی، فرم ها فوق العاده و بسیار بی نظیر است. به علاوه حرکت و پویایی نه فقط در جزء جزء یک ساختار، بلکه در ترکیبات و مجموعه های وسیع و عظیم نیز به شکلی کاملاً هماهنگ موجود است. بیونیک که به آن بیومتریک یا مهندسی خلاق زیستی هم می گویند کاربرد سامانه ها و روش های بیولوژیکال موجود در طبیعت در سیستم های مهندسی و فناوری های مدرن است. طراحان برای استفاده و تقلید از فرم های طبیعی تاکنون دو شیوه را به کار برده اند. شیوه اول این که هدف طراح فقط تقلید از ظاهر خارجی فرم های طبیعی باشد که در این مدرن ساختمان ها فقط بازتابی از زیبایی ظاهری موجود در طبیعت محیط اطراف می باشد. شیوه دوم آن که طراح از فرآیندهایی که فرم های طبیعی را شکل داده اند، برای خلق طرح های جدید الهام می گیرد. برای توسعه و پرورش فرم های معماری که در طبیعت یافت می شوند، قوانین اساسی وجود دارد که می توان آن ها را در اغلب ساختمان های بدیع و نوین به کار برده و نتیجه این کار طرحی عالی است که کارایی سازه ای، نیازهای عملکردی و زیبایی شناسی با یکدیگر ترکیب شده اند. هدف اصلی این پژوهش مطالعه و درک معماری طبیعت گرا معماری ارگانیک یا ("هندسه فرم های طبیعی است"). و الگو برداری از طبیعت و ساختمان هایی که با الهام از طبیعت و با این فرم ها بنا شده اند را بیان می دارد.

واژگان کلیدی: معماری ارگانیک، الگو برداری، فرم های طبیعی، معماری الهام از طبیعت، معماری بیونیک

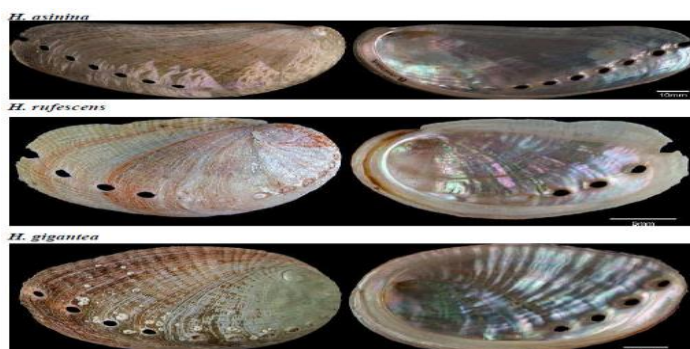
۱. دانشجوی کارشناسی، رشته معماری، دانشگاه آزاد صوفیان، ایران، عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان

۲. کارشناسی ارشد، رشته معماری، دانشگاه تبریز، ایران

۳. کارشناسی، رشته معماری، دانشگاه آزاد تبریز، ایران

مقدمه :

سیمای شهرهای اقصی نقاط جهان که تا چندی پیش هرکدام درون خود دنیایی متفاوت داشت، هر روز با سرعتی افزون تر در پی محو شدن آن چیزی است که به آن هویت مستقل می‌داد و این امر همسانی و یکنواختی را به بار آورده است. معماری و شهر برای انسان قبل مدرن، محصول خلاقه‌ای بود که نتیجه محدودیت‌های اقلیمی و سازه‌ایی از طرفی و باورهای جمعی افراد از طرف دیگر بود. آنچه که فضای مصنوع او را تشکیل می‌داد، برخاسته از بستر و همپا و هم راستا با ویژگی‌های آن منطقه بود. این پیوند سبب گشته بود که محصول اندیشه معمار در حدود ویژگی‌ها و باید‌هایی که مصالح محلی و شرایط محیطی به اثر اجبار می‌نمود، امکان حرکت داشته باشد. از جهت دیگر به علت باورهای متفاوتی که به طبیعت و پدیده‌های آن و لزوم حفظ این عرصه به عنوان موهبت، مدیریت پسماندها نیز به گونه‌ایی انجام می‌گردید که چرخه حیات مختل نگردد. در واقع تاریخ قرن بیستم را باید تاریخ ساخت و ساز برپایه الگو برداری و تقلید از ماشین و فن آوری‌های ماشینی دانست. ماشین سنبل تفوق و اقتدار بشر بر طبیعت بود. ماشین‌ها زندگی بشر را در شرایط دشوار اقلیمی راحت تر و زمان سفرها را بسیار کوتاه تر نموده و تقریباً همه چیز از تولید لباس تا غذا را به شدت تحت تاثیر قرار داده و دگرگون ساخته بودند. این گونه بود که ماشین به سنبل و الگوی ایده آل برای طراحی فضاهای زیستی مبدل گردید. تا این حد که لوکوربوزیه (LeCorbosier) معمار بزرگ قرن بیستم هم خانه را به ماشین زندگی تشبیه نمود. (قبادیان، وحید، معماری معاصر غرب، ص ۶۳). متاسفانه فضاهای زیستی که با الهام از ماشین‌ها طراحی می‌شدند به مرور با وجود برخورداری از فرهنگ‌ها و شرایط اقلیمی متفاوت، مشابه هم می‌شدند. این بناها هم چون ماشین‌ها از مجموعه قطعات سرهم شده و مشابه‌ای شکل می‌گرفتند که دیگر مهم نبود در سنگاپور باشد یا در شیکاگو، زیرا شرایط محیطی ایده آل داخلی آن‌ها جدا از شرایط اقلیمی شان، با استفاده از تاسیسات الکتریکی و مکانیکی کم و بیش مشابه به یک اندازه و در حد ایده آل کنترل می‌شد. مصرف انرژی و مصالح در این ماشین‌ها هم متاسفانه مانند دیگر ماشین‌های عصر ما بسیار بسیار بالا و کمر شکن بود به طوری که این اتلاف انرژی موجب تغییر و تحول اساسی در آب و هوا و شرایط محیطی مورد نیاز فضاهای زیستی گردید. فرم‌های طبیعی چندین میلیون سال است که در حال توسعه هستند و از این میان تنها فرم‌هایی به جا مانده‌اند که در آن‌ها شکل و نیروها همیشه در تعادل است. به نظر می‌رسد، مطالعه مواردی شامل میلیون‌ها سال تکامل و انتخاب طبیعت است، می‌تواند زمینه حل بسیاری از مشکلات مهندسی را فراهم کند، پوسته‌ی تخم مرغ، پوسته‌ی دانه‌ها، جمجمه حیوانات، حباب آب، صدف‌های دریایی از نمونه‌های متداول پوسته‌های موجود در طبیعت هستند. در این میان نمونه مناسبی از کاربرد پوسته‌ها در طبیعت صدف‌ها می‌باشند که دارای توابع ساده ریاضی هستند. گاستروپدها خانواده‌ای از صدف‌ها می‌باشند که اکثر فرم پوسته‌های آن‌ها به صورت اسپیرال می‌باشد. معماران از دیرباز از طبیعت الهام گرفته‌اند. در عصر باستان، ستون‌های معابد و قصرها به تقلید از درختان نخل و یا گل نیلوفر ساخته می‌شدند و طراحان ساختمان‌ها نیز در موارد مختلف، از شکل‌ها و تناسب‌های طبیعی برای دستیابی به الگوهای زیبا شناختی و چشم نواز بهره‌جسته‌اند. امروزه برخی از معماران بر این باورند که تقلید از طبیعت، تلاش زیادی می‌کنند و به عنوان مثال، از الگوهای طبیعی برای خنک کردن محیط زندگی، تولید انرژی و حتی شیرین کردن آب دریاها استفاده می‌کنند. آنها بر این مسئله تاکید دارند که استفاده از طرح‌های مبتنی بر طبیعت و الگوهای طبیعی نه فقط یک شعار بلکه یک مسئله حیاتی و مقرون به صرفه از نظر اقتصادی و مالی است.



شکل ۱: فرم کلی صدف آبالون و حفره های لبه کناری پوسته

روش تحقیق

بدیهی است که هر پروژه علمی نیاز به یک روش تحقیق متناسب با موضوع خود دارد. روش مواجهه با مسأله و پژوهش در ارتباط روش تحقیق در این پژوهش مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و تحقیقات میدانی است و رویکردی توصیفی دارد.

سوال مسله

چه عواملی باعث شده که امروزه نیاز به معماری ارگانیک و معماری بایدار در جهان بیشتر و بیشتر احساس شود. در شروع انقلاب صنعتی در قرن هجدهم غلظت دی اکسید کربن جو زمین ۲۷۰ قسمت در میلیون بود و اکنون غلظت آن به ۳۷۷ قسمت در میلیون رسیده است. این مقدار نه تنها در ۷۴۰ هزار سال گذشته بلکه از ۵۵ میلیون سال پس تا کنون سابقه ندارد. ۵۵ میلیون سال پیش کره زمین سیاره‌ای گرمسیری بود و قطب شمال و جنوب وجود نداشت و سطح دریاها ۸۰ متر بالاتر از امروز بود. این شرایط برای حیات انسان مناسب نبود و با از بین بردن این شرایط انسان توانست روی این کره خاکی به حیات خود ادامه دهد. اما اکنون بشر آگاهانه با دست خود این شرایط را دوباره شکل می‌دهد. در صورت ادامه روند کنونی اثرات سوئی از جمله بر بومی شناسی و مدیریت بوم تاثیر بر رویسلانت انسان تغییرات در زیر ساختارها از طریق جاری شدن سیل و حرکت لایه‌های زمین طغیان رودها و بالا آمدن آب دریاها خشک شدن درون قاره‌ها و مرطوب شدن سواحل آتش گرفتن شهرها و جنگلها از بین رفتن لایه اوزون کاهش اختلاف دمای شب و روز اسیدی شدن اقیانوس‌ها و تغییر در توزیع آب در کره زمین را شامل باشد حفاظت از انرژی و استفاده پایدار از آن پیشرفت‌های عظیم تکنولوژی استخراج نفت و سایر ذخایر زیرزمینی، استفاده هر چه بیشتر این منابع تجدید ناپذیر را فراهم آورده است لذا طراحی ساختمان‌ها باید به گونه‌ای باشد که مصرف سوخت فسیلی را به حداقل برساند. همچنین توجه به این مسئله که منابع بهره‌برداری شده در سامانه‌های توسعه در کجا استفاده می‌شوند و چگونگی پایدار نگهداشتن آنها و استفاده از منابعی که امکان جایگزینی سریعتری دارند بسیار مهم است. به عنوان مثال از چوب درختانی باید استفاده شود که سریع تر رشد کرده و می‌توانند جایگزین شوند.

معماری ارگانیک

بینش معماری ارگانیک ریشه در فلسفه رمانتیک دارد. رمانتیسم یک جنبش فلسفی، هنری و ادبی در اواخر قرن هجده و نوزده میلادی در شمال غربی اروپا بود که به سایر نقاط اروپا و آمریکا سرایت کرد. این جنبش واکنشی در مقابل خردگرایی عقل مدرن بود. گوته (۱۸۳۲-۱۷۴۹) و شیلر (۱۸۰۵-۱۷۵۹)، دو شاعر بنام آلمانی، واژه رمانتیک را در مقابل کلاسیک برای اولین بار به کار بردند. طبیعت در شعر شاعران، یقیناً در روح شاعرانه هر آفرینه ای حضور دارد. طبیعت نام خود را (مثل طبیعی، طبیعت گرا) به هر آنچه «واقعی» می‌نماید عاریه می‌دهد. طبیعت سر چشمه احساسات، شعور و شمع، و رایحه فضا و زمان است بسیاری از احساساتی که طبیعت به وجود می‌آورد مثل تغییرات ساعات و گذشت زمان، که با تغییر رنگ کوه‌ها و آسمان، عبور نور از لابه لای ابرها، و با سربرآوردن ماه و غروب خورشید مشخص می‌شود، نامحسوس هستند؛ که حضور خود را از طریق مشاهده یا تاثیر عناصر محسوس طبیعت (مثل کوه‌ها، دریاها، حیوانات و موجودات) بر ما مشهود می‌سازد. طبیعت با همه چیز در تماس است، روح زندگی را در آنها می‌دمد و شرایط لازم وجود رویش موجودات را فراهم می‌کند. طبیعت دلیل هر گونه «تغییر پذیری» است، و هم چنین قابلیت آموزش مفاهیم بصری، فضایی و ساختمان را دارا است [۵]. از نظر رایت ارگانیک یعنی تلفیق شدن کل مجموعه و در مورد ساختمان ارگانیک معتقد بود: ساخته شده توسط افراد درون زمین با تمهیداتی که خود در نظر می‌گیرند و با توجه به زمان مکان محیط و هدف. از جمله معماران مطرح این سبک در حال حاضر فی جونز هست. هر چند معماری ارگانیک بر خلاف کارهای میس وندروهه و لوکوربوزیه صورتی جهانی به خود نگرفت ولی با این حال پیروانی در سایر کشورها پیدا کرد. در اروپا می‌توان از هوگو هرینگ و هانز شارون آلمانی، آلوار آلتو

فنلاندی و گروه دیستیل در هلند نام برد. در ایران هم می توان در کارهای مهندس هوشنگ سیحون، مهندس پاسبان، مهندس مهرداد ایروانیان نمونه هایی از اصول طراحی معماری ارگانیک را مشاهده کرد [۳].

فردریش ویلهلم شیلینگ (۱۸۵۴-۱۷۷۵)، که یکی از بنیانگذاران مهم فلسفه رمانتیک محسوب می شود، معتقد بود که طبیعت جزئی از خود انسان است و بین انسان و طبیعت جدایی نیست.

این گفته رایت «هیچ خانه ای نباید روی تپه باشد، بلکه باید جزئی و برآمده از طبیعت باشد، متعلق به آن باشد، تا تپه و خانه بتوانند با هم زندگی کنند و خوشحالی هریک به لحاظ وجود دیگری باشد»، به بهترین شکل ممکن در خانه آبشار (۱۹۳۷) طراحی و اجرا شده است. (قبادیان، وحید، معماری معاصر غرب، ص ۶۴-۶۳).

هوراتیو گرینو (۱۸۵۲-۱۸۰۵)، مجسمه ساز و هنرمند آمریکایی، نظریه زیبایی پیشنهاد می کرد که بر اساس مطالعه دقیق طبیعت بود. «قانون تطبیق پذیری، قانون زیربنایی طبیعت در تمام ساختارها است». ساموئل تیلور کولریج (۱۷۷۲-۱۸۳۴)، شاعر، ادیب و فیلسوف انگلیسی، معتقد بود که «فرم ارگانیک همان گونه که از درون رشد می کند، شکل می گیرد».

لودوک براین نظر بود که «ارتباط بین عملکرد و سازه یک اصل زیر بنایی در معماری قرون وسطا بود و باید به عنوان یک اصل مهم، راهنمای هنرمندان مدرن باشد».

لذا می توان بیان نمود که عقاید رمانتیک های اروپا و آمریکا، بالاخص نظرات آن ها در مورد طبیعت و قوانین طبیعی، زیربنای فکری معماری ارگانیک را تشکیل می دهد.

معماری ارگانیک در آمریکا در قرن ۱۹ توسط فرانک فرنس و لویی سالیوان شکل گرفت. اوج شکوفایی این نظریه را می توان در نیمه اول قرن بیستم در نوشتارها و طرح های فرانک لوید رایت مشاهده کرد.

لویی سالیوان از پایه گذاران سبک مکتب شیکاگو و معماری مدرن در آمریکا بود. وی نیز اعتقاد بسیار زیاد به فرم های طبیعی و سبک ارگانیک داشت. سالیوان به روشی معتقد بود که مشابه پروسه به وجود آوردن در طبیعت بود. او برای اولین بار اصطلاح فرم تابع عملکرد را بیان نمود و چنین عنوان کرد: «بعد از مشاهده مستمر پروسه طبیعی به این نتیجه رسیدم که فرم تابع عملکرد است». یعنی سالیوان فرم تابع عملکرد را در پروسه رشد و حرکت طبیعی می دید. سالیوان در مورد مصالح می گوید: «سنگ و ملات در ساختمان ارگانیک زنده می شود»؛ موضوعی که فرانک لوید رایت، شاگرد وی، بهتر از هر معمار معاصر دیگری آن را در ساختمان هایش نشان داده است [۱].

«فضای داخلی خانه آبشار با فضای بزرگتری که طبیعت است تلفیق شده فرد در داخل این ساختمان، خود را در فضای بزرگتری که همان بطن طبیعت است احساس می کند».

ارتباط معماری با ارگانیک های طبیعی به طور موثر ۴ مورد محدود می شود:

- ۱- رابطه ارگانیک ها با محیط خود.
- ۲- وابستگی بین ارگانها با یکدیگر.
- ۳- رابطه بین فرم و عملکرد [۳].

از این اصول سه صفت و خاصیت اساسی معماری ارگانیک بیرون کشیده می شود:

- ۱- ساختمان به مثابه یک عنصر طبیعی: این به آن معناست که ساختمان های ارگانیک بر خلاف عقاید لوکوربوزیه همچون پروانه های سبک بالی نیستند که بر فراز مرغزاری در پرواز باشند، بلکه یک جزء کامل، محکم و فروتن از محیطی را تشکیل می دهند که از آن روئیده می شوند و نیز به این معنا که از این پس نه تنها رنگ سفید که منطقی و خنثی است و چیزی بیش از برخی تجربه های حجمی را ارائه نمی دهد، بلکه حتی رنگهای اصلی که مکتب استیل ارائه می کرد نیز دیگر استفاده نمی شوند. اما در عوض تمامی طیف گرم و رنگینی که با محیط هماهنگی دارند به کار برده می شود، این موضوع همچنین به معنای کاربرد کمتر مواد و مصالح مصنوعی مانند شیشه و آهن و استفاده بیشتر از مصالح طبیعی مانند سنگ، چوب، آجر، مصالح بنایی و بتن در موارد لزوم است، در حالتی که هریک به صورت مرئی و نمایان به کار برده شوند تا بتوانند بر استقلال و فردیت خود تاکید کنند در نهایت یعنی یک بیان معماری که به طور متعصانه، نه تحت تسلط هندسه قائم الزاویه، بسیار فارغ تر و دارای و واژه گانی غنی تر باشد.

۲- ساختمان به مثابه یک عنصر مشخص: هر فعالیت معماری، در برنامه ای که دارد، در شرایط اقتصادی حاکم بر آن، در شرایط مکانی و فردی اش و در رابطه با نیازهای روانشناختی صاحب و استفاده کننده اش، وضعیتی منحصر به فرد دارد و بنابراین در طراحی ساختمان تمامی جنبه هاباید در نظر گرفته شوند. بدین ترتیب این پیش فرض خردگرایانه که نیازهای اساسی نوع بشر همه متساوی اند، نمی شود. نکته حائز اهمیت اجزای احساسی اند که در موارد مختلف، تفاوت می کند. موضوع استاندارد نیز که باید آمدن صنعت مطرح شده است به همان درجه مورد نفی قرار می گیرد. اما آنچه مورد اهمیت است رعایت جنبه های انسانی در استفاده از ماشین است، با توجه به این معنا که جنبه های انسانی متنوع و انفرادی هستند. معماری ارگانیک در شیفتگی به تکنولوژی، همپا و همراه خردگرایی نیست.

۳- ساختمان به عنوان یک عنصر سنتی: هر خانه باید شخصیت ویژه خود را بدست آورد و نه تنها از طریق نقشه ساختمانی، محیط و شخصیت فردی که برای او ساخته شده است، بلکه در رابطه با کشوری که در آنجا بنا می شود و بر اساس سنت هایی که در آنها ریشه دارد. این موضوع بایستی که در انتخاب نوع مصالح، روش ساختمانی و بیان و زبان طراحی تجلی یابد [۲۱]. اگرچه رایب با تکنولوژی مدرن مخالفتی نداشت، ولی وی آن را به عنوان غایت و هدف تلقی نمی نمود. به اعتقاد رایب، تکنولوژی وسیله ای است برای رسیدن به یک معماری والا تر که از نظر وی همانا معماری ارگانیک بود. او در ۲۰ مه ۱۹۵۳ در تلیسین معماری ارگانیک را در نه عبارت ذیل تعریف کرد.

۱. طبیعت	فقط شامل محیط خارج مانند ابرها و درختان و حیوانات نمیشود بلکه شامل داخل بنا و اجرا و مصالح آن میباشد.
۲. ارگانیک	به معنای همگونی و تلفیق اجزا نسبت به کل و کل نسبت به اجزاست.
۳. شکل تابع عملکرد	عملکرد صرفا صحیح نمیباشد بلکه تلفیق فرم و عملکرد استفاده از ابداع و قدرت تفکر انسان در رابطه با عملکرد ضروری است. فرم و عملکرد یکی هستند.
۴. لطافت	تفکر و تخیل انسان باید مصالح و سازه سخت ساختمان را به صورت فرم های دلپذیر و انسانی شکل دهد همانگونه که پوشش درخت و گل بوته ها، شاخه های آنها را تکمیل میکند. مکانیک ساختمان باید در اختیار انسان باشد و نه بالعکس.
۵. سنت	تبعیت و نه تقلید. سنت اساس تفکر معماری ارگانیک است.
۶. تزئینات	بخشی جدایی ناپذیر از معماری است. رابطه تزئینات به معماری همانند گل ها به شاخه های بوته میباشد.
۷. روح	روح چیزی نیست که به ساختمان القا شود، بلکه باید در درون آن وجود داشته باشد و از داخل به خارج گسترش یابد.
۸. بعد سوم	بر خلاف اعتقاد عمومی، بعد سوم عرض نیست، بلکه ضخامت و عمق است.
۹. فضا	عنصری است که دائما باید در حال گسترش باشد. فضا یک شالوده بنهانی است که تمام ریتم های ساختمان باید از آن منبعس شود و در آن جریان داشته باشند.

شاهکار معماری فرانک لوید رایب و نظریه ارگانیک را می توان در خانه آبشار در ایالت پنسیلوانیا در آمریکا دید. این خانه که در سال ۱۹۳۷ ساخته شد، به بهترین شکل ممکن عقاید رایب در مورد معماری ارگانیک را نمایش می دهد. موارد طراحی و اجرایی را که رایب برای این خانه ویلایی در نظر گرفته بود می توان در هشت مورد ذیل خلاصه کرد.

۱.	حداقل دخالت در محیط طبیعی .
۲.	تلفیق حجم ساختمان با محیط طبیعی بگونه ای که هریک مکمل دیگری باشد.
۳.	ایجاد فضاهای خارجی بین ساختمان و محیط طبیعی.
۴.	تلفیق فضای داخل با خارج.
۵.	نصب پنجره های سرتاسری و از بین بردن گوشه های اتاق.
۶.	استفاده از مصالح محیط طبیعی مانند صخره ها و گیاهان چه در داخل و چه در خارج بنا.
۷.	نمایش مصالح به همانگونه که هست چه سنگ باشد چه چوب و چه اجر.
۸.	استمرار نمایش مصالح از داخل به خارج بنا.

الگوبرداری از طبیعت "باربری های لایه ای"

طبیعت مکانیزم باربری شگفت انگیز لایه ای دارد و فرم ها همواره در تمامی مراحل رشد، تحت تاثیر نیروها و بارهای موثر بر آنها شکل می گیرند و به این ترتیب پوسته، غشا، کش بست و ساختارهای سبک و فضاکار به صورت طبیعی به وجود می آید.



پوسته و غشای نوین در واقع از جمله سازه هایی هستند که در این دسته بندی یعنی باربری لایه ای قرار می گیرند. غشای نوین بر پایه سطوح کاملاً کشیده و به اصطلاح مینیمم شکل می یابد که در اواسط قرن بیستم توسط " فرای اوتو" مهندس معمار آلمانی مورد دقت و توجه قرار گرفت و امروزه از جمله سیستم های ساختمانی متداول و مورد توجه مهندسیین معمار به حساب می آید [۶].

چگونگی تاثیر طبیعت بر خلاقیت معماران

طبیعت در شعر شاعران، یقیناً در روح شاعرانه هر آفرینه ای حضور دارد. طبیعت نام خود را (مثل طبیعی، طبیعت گرا) به هر آنچه «واقعی» می نماید عاریه می دهد. طبیعت سر چشمه احساسات، شعور و شعف، و رایحه فضا و زمان است بسیاری از احساساتی که طبیعت به وجود می آورد مثل تغییرات ساعات و گذشت زمان [آنتو نیادس، ۱۳۸۱، ۴۰۱].

تاثیر طبیعت بر فرم سازه

در طبیعت هرآنچه به اندازه کافی قوی نیست محکوم به نابودی است از این رو فقط کاراترین و قابل انعطاف ترین فرم های طبیعی در طول میلیون ها سال باقی مانده اند [تقی زاده، ۱۳۸۵، ۷۶]. جان راسکین در استفاده از فرم های طبیعی می گوید: از هیچ چیز تقلید مکن مگر فرم های طبیعی [RuSKiN, 1906]. الهام از فرم و حالات گیاهان، جانوران، کوه ها و صخره ها و دیگر اقسام موجود در طبیعت می تواند منبع الهام بسیار مناسبی برای معماران بوده و در معماری داخلی و خارجی یک بنا مورد استفاده قرار گیرد. معماری می تواند با تعمق در انحنا، تناسبات، حجم و نحوه ترکیب احجام و شکل ها به فرم های مناسب و کارایی دست یابد. مثال های متعددی در این زمینه وجود دارد که ساختمان معبد الاذکار که از گل نیلوفر الهام گرفته از جمله این موارد می باشد. همچنین باید اصولی را که متضمن رشد و تکامل و زندگی ارگانیسم ها در محیط آنهاست شناخت و در طراحی فرم ها از این اطلاعات و روابط بهره گرفت [فریدونی، ۱۳۷۷، ۲۷].



<https://en.wikipedia.org>

تأثیر طبیعت بر سازه

معمار می تواند با پژوهش و تحقیق در عناصر سازه ای که از ساختارهای موجود در طبیعت و جانداران بی جان استخراج می شود در یک سازه یک بنا تاثیر گذارد. همچنین با تحلیل نیروها و اثر گذاری آنها بریکدیگر سازه هایی با مقاومت های بالا خلق نماید. آنتونی گائودی از نخستین سال های تحصیل اش خلاقیت خود را نشان داد و اگر چه شاگرد ممتازی نبود، اما در درس های خاصی چون هندسه استعداد فراوانی از خود نشان داد. او به مطالعه دقیق زوایا و پیچ و خم های اشکال طبیعی پرداخت و به جای اتکاء به اشکال هندسی، طبیعت را مبنای کار خود قرار داد و استفاده و این امر باعث ایجاد یک سبک معماری خاص در آثارش شد. ستون های کلیسای ساگرا فامیلا اثر گائودی از نمونه های موفق در این زمینه می باشد که با بهره گیری از شاخ و برگ درختان ستون های این کلیسا را طراحی کرده است.



ستون های الهام گرفته از درختان در کلیسای ساگرا فامیلا منبع : <http://hdcreme.com>

تأثیر طبیعت بر عملکرد

هر ساختار موجود در طبیعت برای هدف و منظور مشخصی شکل گرفته و با ادراک آن می توان به این هدف دست یافت و از آنها بهره جست. اریک هوفر می گوید " انسان با یادگیری عملکردهای درونی طبیعت به سازنده ماشین ها مبدل شد "

(senosiain,2003:16). برای مثال می توان به خلق پوسته تغییر رنگ دهنده در نما اشاره نمود که با مطالعه عملکرد آفتاب پرست و تغییر رنگ آن در شرایط محیطی مختلف به وجود آمده است. محققان با الهام از آفتاب پرست ها موفق به ساخت نما شدند که این فرآیند را در معماری شبیه سازی می کند (گلابچی، خرسند نیکو، ۱۳۹۳، ۳۰۴). همچنین نمونه موسسه مطالعاتی دنیای عرب که از عملکرد چشم انسان برای پوشش نمای خود و تنظیم نور در فضای داخلی مجموعه استفاده کرده است، اشاره نمود. اگر شکل و ویژگی های موجود در طبیعت را بررسی کنیم در می یابیم که دلایل دقیقی برای شکل و وجودیت آنها وجود دارد که شکل های آنها عملکردها را به انجام می رساند (senosiain,2003:16). شناخت عملکردهای موجود در طبیعت با مطالعات دقیق در ساختارهای طبیعی قابل برداشت است و در بسیاری از علوم از جمله معماری قابل تعمیم بوده و موجب خلاقیت در عناصر مختلف معماری می شود.



موسسه مطالعاتی عرب در پاریس منبع : <http://www.e-architect.co.uk>

ایجاد روش ها و سبک هایی در معماری بر اساس الهام از طبیعت

بهره گیری از فرم، سازه، عملکرد، رنگ، مصالح، ترکیبات موجود در طبیعت موجب خلاقیت های بسیاری در عناصر مختلف معماری همچون پلان، نما، حجم، پوسته و... می باشد. سبک های مختلفی با تاثیر پذیری از طبیعت بر عناصر مختلف معماری به وجود آمده و از طبیعت به صورت ظاهری و عمیق در فرم، سازه، عملکرد، رنگ، مصالح و تزئینات بهره برده اند. کشف کیفیات و نظم در طبیعت و رسیدن به معماری با خلوصی چون خلوص طبیعت در آثار معماران طبیعت گرا نمایان است [کیانی، ۱۳۸۰، ۶۷]. از جمله سبک های معاصر که در راستای طبیعت شکل گرفته اند می توان به هنرنو، ارگانیک، بیونیک، اکوتک، معماری سبز اشاره نمود که آثار به جا مانده از آنها گاه تلفیق دو یا چند عنصر در بهره گیری از طبیعت می باشد. تلاش و لزوم شناخت طبیعت و طبیعت گرایی از آغاز خلقت بشر به صورت گوناگونی در عرصه های مختلف از جمله هنر، پزشکی و فناوری، بروز کرده است. این گرایش در تفکرات نوین نیز امتداد یافته است که از آن جمله می توان به علم بیونیک اشاره کرد [همایونی، ۱۳۸۴، ۷۴]. کالاتراوا یکی از معماران معروف سبک بیونیک است که گفتگو با طبیعت و خلاقیت در آثارش موج می زند. طبیعت مبنای فکری او را تشکیل می دهد، زیرا معتقد است نهایت هر کیفیتی در طبیعت و بطن هر پدیده طبیعی خیلی پیشتر اتفاق افتاده و ساختارگرایی در طبیعت با ترکیب بندی واحدهایی از فرم در مقیاس بزرگ بارها آزموده شده است [اکرمی، ۱۳۷۷، ۶۴]. موزه هترمیلوواکی اثر این معمار از جمله بناهای سبک بیونیک است که از باز و بسته شدن بال های پرندگان برای سازه، فرم و عملکرد این ساختمان استفاده نموده است. همان طور که بیان شد طبیعت با روش های مختلفی بر عناصر معماری نظیر پلان، سازه، حجم، نما و پوسته تاثیر گذاشته و خلاقیت های بسیاری از معماران در بهره گیری از طبیعت را در طول تاریخ گواه این مطلب است.



موزه هنر میلواکی اثر کالاتراوا با الهام از بال زدن پرنده منبع : <http://inhabitat.com>

الگو پذیری از عملکرد جانوران نیز در بسیاری موارد مطرح است. ورزشگاه المپیک پکن با طرحی شبیه لانه پرنده‌گان نمونه خوبی است. سازه خارجی به صورت مجموعه ای از رگ های بزرگ طرح ریزی شده است. عناصر سازه به طور کامل یکدیگر را نگه می دارند و همدیگر را به صورت شبکه ای قطع می کنند مشابه لانه پرنده‌گان، که با شاخه های کوچک به هم بافته شده اند [۲۲]. ماریا رزا سروا و خاویر پیوز در کارگاه آموزشی بین المللی بیونیک و معماری در کوئنا (اسپانیا) و در سال ۱۹۹۳ سازه ای نوین ارائه دادند که از ساختار گیاهان آوندی متاثر بود. حاصل کار برج عمودی بیونیک با گنجایش صد هزار نفر جمعیت به ارتفاع ۱۲۲۸ در شهر شانگهای چین بود. استفاده از فرم و نحوه توزیع نیرو در شاخه ها نیز الهام بخش بسیاری از معماران مانند فرانک لوید رایت بوده است. آنها فرم درخت را نه فقط به خاطر شکل پایدار آن، بلکه به دلیل صراحت و روشنی ساختار و حالت موزون آن به کار گرفته اند [۲۳].

علم بیونیک

بیونیک که به آن بیومتریک یا مهندسی خلاق زیستی هم می گویند کاربرد سامانه ها و روش های بیولوژیکال موجود در طبیعت در سیستم های مهندسی و فناوری های مدرن است. واژه بیونیک از دو لغت لاتین Bio+nic تشکیل یافته است که در آن Bio در زبان یونانی به معنای "زیست" و "حیات" است و حروف ic پسوند شبیه ساز هستند به معنی "مثل" و "مانند". اگر چه لغات Biomechacic ، Biognosis ، Biomimetics ، Biomimicry ، نیز در زمینه ارتباط طبیعت با دانش بشری هستند لیکن واژه بیونیک بیشتر گویای ارتباط بین طبیعت و طراحی محصول است. واژه بیومیمکرای (یا بیومیمیکس) نخستین بار در سال ۱۵۹۰ توسط اتو اشمیت و جک استیل در حین فعالیت بر روی یک پروژه هوانوردی در پایگاه هوایی رایت - پترسون در ایالات متحده آمریکا ابداع و مورد استفاده قرار گرفت. او بیونیک را علم سیستم هایی که شالوده و پایه تمامی سیستم های زنده اند می داند [۲۵].

الگو برداری و تفکر الگو یاب

تعریف الگو: الگو عبارت است از طراحی کامل و پاسخگو که جنبه کلی و فراگیر دارد و فارغ از محدودیت های زمانی و مکانی است در صورتی که شرایط مناسب در مورد موضوع مورد استفاده قرار گیرد، هدف مورد نظر را تامین می کند. شاخص بارز الگو، پرهیز از سعی و خطا و انجام کار با استفاده از حداقل صرف زمان و انرژی است [26].

مراحل طراحی معماری بیونیک

استفاده از فرم های بهینه شده ی طبیعی و الگو گیری از آنها در ساخت فرم های معماری و ساختمانی می تواند علاوه بر کاهش زمان و هزینه، انعطاف پذیری لازم برای طراحی پوسته و خلق فرم های جدید در زمینه معماری و طراحی معماری را فراهم آورد. در اواخر قرن نوزدهم، داری تامپسون (D.Arcythompson). علم ریخت شناسی یا مورفولوژی (morphology) را پایه گذاری کرد. او در کتاب دو جلدی خود (onGrowthandfrom) نشان داد که شکل ها و

ساختارهای طبیعی علیرغم تنوع، پیچیدگی، ظرافت، غنا و زیبایی بر پایه اصل بقا و میل به ادامه حیات ارگانیسم ها شکل گرفته و به وجود آمده اند. همچنین آندریاس فاینینگر (Andreasfanynger) در کتاب خود به نام آناتومی طبیعت تکامل ساختار و فرم در طبیعت را واکنش هوشیارانه برای بقا دانسته است. در واقع فرم و ساختار طبیعی حاصل جریان پوسته سازگاری با نیروهای طبیعی است. طراحی بیونیک حرکتی است که از دهه شصت آغاز شده ولی به دلیل محدودیت های فنی مانند عدم وجود میکروسکوپ های پیشرفته، عدم وجود نرم افزارهای شبیه سازی، بهینه سازی پیشرفته و... تاثیر مشخصی در آن سال ها از خود بر جا نگذاشت.

پس از مطالعات و بررسی، مراحل پیشنهادی برای طراحی معماری بیونیک به شرح زیر پیشنهاد می گردد :

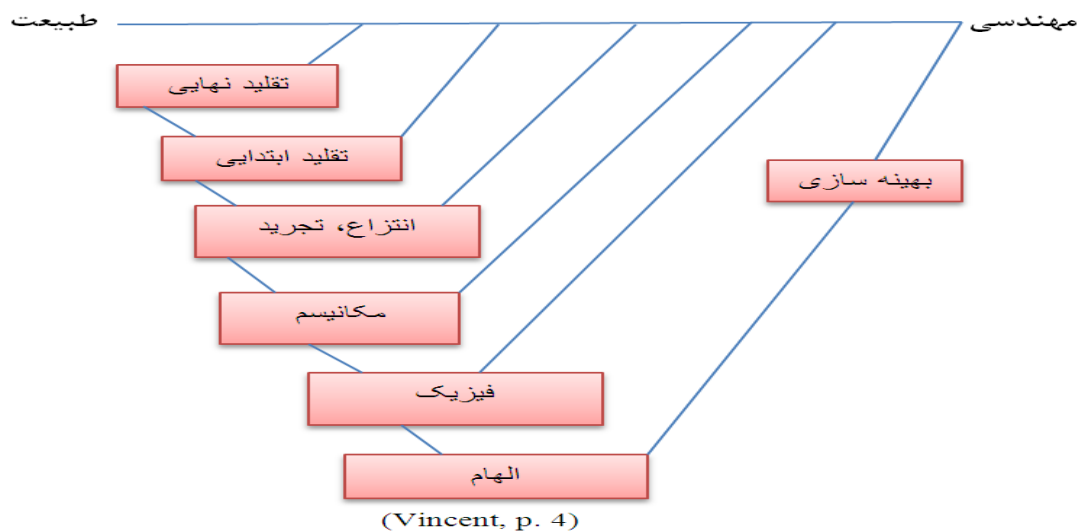
- * مرحله اول: تعریف و شناسایی صورت مسئله.
- * مرحله دوم: تجزیه، تحلیل و تفسیر صورت مسئله.
- * مرحله سوم: جستجو برای یافتن و کشف راه حل های طبیعی، زیستی، بیولوژیکی.
- * مرحله چهارم: تعریف مقدمه ای بر راه حل های طبیعی، زیستی، بیولوژیکی.
- * مرحله پنجم: استخراج اصول و مبانی طبیعی، زیستی، بیولوژیکی و تقلید کردن.
- * مرحله ششم: ارزیابی، سنجیدن و کاربردی کردن اصول و مبانی.

مراحل پیشنهادی برای طراحی معماری بیونیک.



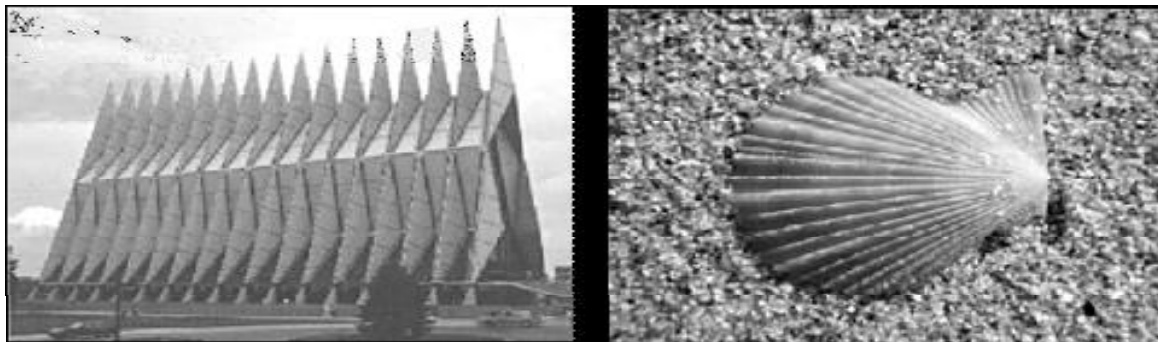
<http://www.biomimicryinstitute.org>

دیاگرام بیومیمتیکس، روند ایده به ساخت مهندسی مهندسی طبیعت



صدف های دریایی

در بسیاری از موارد به دلیل فرم بدن موجودات زنده به مقاومت خمشی می باشد و استفاده از فرم های قوسی میسر نیست، مسئله ای که در این رابطه پیش می آید، استفاده از مصالح حداقل با حداکثر کارایی است. یک صفحه کاغذ صاف را برداشته و آن را خم می کنیم، به وضوح می توان مشاهده کرد که این صفحه کاغذ در برابر خمش هیچگونه مقاومتی ندارد. ولی اگر در همین صفحه تاخوردگی های متعدد ایجاد نماییم، متوجه خواهیم شد که کاغذ در برابر نیروهای خمشی مقاومت قابل توجهی ندارد. این امر در طبیعت نیز بدون پاسخ باقی نمانده و در طبیعت باز هم ما را مغلوب خود نموده است. در صدف های دریایی چین خوردگی هایی وجود دارد که با حداقل مصالح مقاومت خمشی مناسبی را تامین می نماید [27].



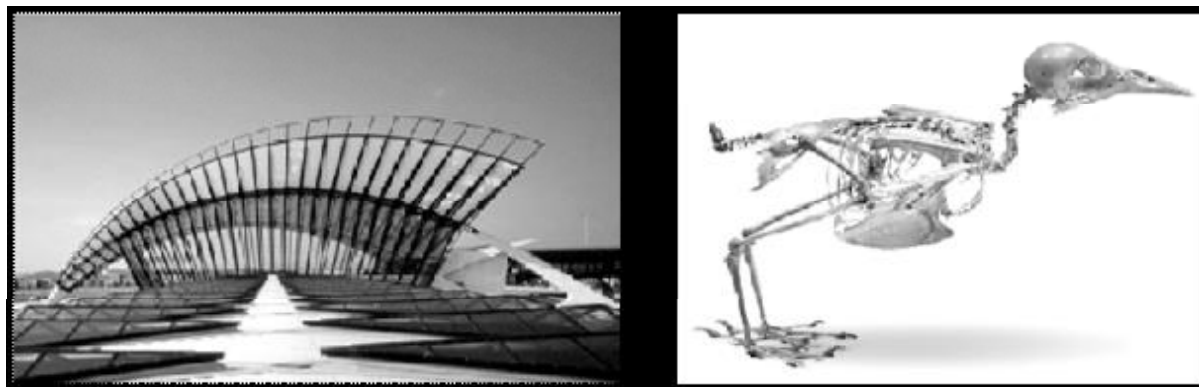
تصویر ساختمان کلیسای cadet در آمریکا با استفاده

از ورقه های تا شده

تصویر صدف دریایی (۱)

استخوان بندی حیوانات

استخوان بندی حیوانات اجزای قاب اسکلتی بدن حیوانات می باشد. که وزن بدن آنها را حمل می کنند و بنابراین می توان آنها را با سازه های متشکل از تیر و ستون که در ساختمانهای بزرگ امروزی به کار می روند ، مقایسه کرد. اجزایی از این قاب اسکلتی که کارایی سازه ای ندارند و فقط باعث افزایش وزن اسکلت می شوند ، به تدریج حذف خواهد شد. معمار و مهندس اسپانیایی ، سانتیاگو کالواترا در بسیاری از طرح های خود از طبیعت الهام گرفته و سازه هایی به شکل اسکلت بدن حیوانات طراحی نموده است. به عنوان نمونه می توان به ساختمان ورودی ترمینال فرودگاه لیون در کشور فرانسه و پل لوسیتانیا در شهر مریدا در اسپانیا اشاره کرد [28].



تصویر نمونه ای از فرم های بدیع در معماری و سازه با استفاده از

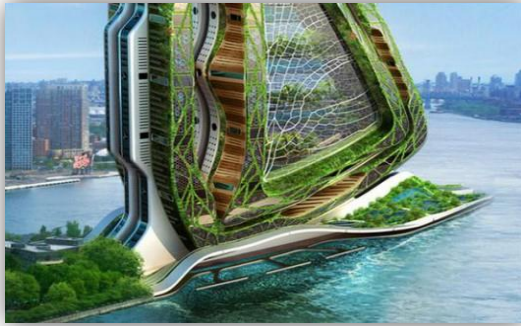
شکل اسکلت

تصویر اسکلت بدن یک پرنده (۱)

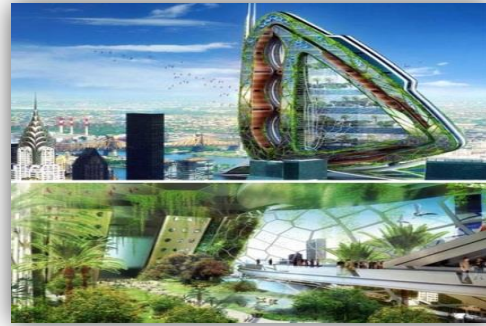
طراحی برج سنجاکک

طراح این برج، شرکت بلژیکی Vincent Callebaut Architecture می باشد. این گروه، یک مزرعه عمودی را با الگوبرداری از بال های سنجاکک طراحی کرده است. این برج که در شرق جزیره روزولت در ایالت نیویورک واقع شده، یک ارگانیکسم زنده است که در مصرف آب، انرژی و تولید غذا خودکفاست. این آسمانخراش دارای ۱۳۲ طبقه و ۶۰۰ متر ارتفاع است که برای تولید ۲۸ زمین زراعی مختلف شامل میوه، سبزیجات، حبوبات، گوشت، لبنیات و تخم مرغ تطبیق داده شده است. این مزرعه عمودی کاربرد پایدار کشاورزی ارگانیک براساس تولید فشرده است که طبق دوره های فصلی تنوع می یابد.

این نوع کشاورزی با توجه به استفاده مجدد از زباله های زیست تجزیه پذیر و حفاظت از انرژی و منابع تجدید شندی برای طراحی یک اکوسیستم است. در این آسمانخراش هیچ چیز هدر نمی رود و همه چیز در یک چرخه پیوسته قرار دارد. معماری بیونیک این برج، سازماندهی عملکردی را نمایش می دهد که به وسیله دو برج کشیده تقارن در اطراف یک گلخانه اقلیمی بزرگ که به آن ها متصل است سازماندهی می شود و بین دو بال شفاف با الهام از بال های سنجاکک گسترش پیدا می کند. این بال های پر نور از جنس فلز و شیشه است.



منبع: سایت معماری نیوز



منبع: سایت معماری نیوز

نتیجه گیری

طبیعت سیستمی از فرم ها و روش های به وجود آوردن را خلق می کند که مستقیماً قابل تطبیق در هنر است. قانون زیر بنایی طبیعت در تمام ساختارهاست. فرم ارگانیک که همان گونه از درون رشد می کند، شکل می گیرد. مجسمه سازان قرون وسطی، گیاهان و حیوانات را مطالعه می کردند تا بفهمند که چگونه فرم های آنها خود را با خصوصیات ارگانیک تطبیق می دهند. از دیدگاه معماری ارگانیک و سردمدار آن "فرانک لویو رایت" همه ی فرم های طبیعی پویا هستند. اجزای یک کار هنری اگر بخواهد ارگانیک باشد باید در یک سیستم پویا و شکل پذیر در یکدیگر ادغام شده باشند. گستردگی موضوع بحث در این پژوهش بیشتر به ابعاد زیست محیطی و دیده گاه ها و سبک های وابسته به آن پرداخته می شود. یکی از ابعاد پایداری تعامل بین انسان و محیط است. با توجه به این که طبیعت و زیست بوم انسان همه چیز او و شروط حیات او را فراهم کرده ، از دیر باز منبع الهام و رفع نیاز انسان بوده است. یکی از نگرش های غالب و متعهد به این دیده گاه ها در زمینه معماری، معماری بیونیک و دیده گاه الهام از طبیعت است. انسان که همواره در ساخت سلاح و سرپناه و همه عناصر تمدن خویش به طبیعت وابسته بوده ، در یک فرآیند طولانی سعی کرده تا الگوی مناسب سرپناه و مسکن را از دل همین طبیعت کشف کند. طبیعت منبع عظیمی است از مصالح، الگوها و تکنیک های تکامل یافته ای که به بهترین شکل با محیط خود در ارتباط است. این تکنیک ها و الگوها از دید مهندسی و معماری به گونه ای با یکدیگر هماهنگ شده اند که علاوه بر بهینه عمل کردن فرم و تامین عملکرد بتواند تنوع در آن و زیبایی را به همراه داشته باشند. چرخه زیست محیطی - "بازیافت" برای مثال تقریباً برای تولید یک تن سیمان در حدود یک تن CO₂ که عامل عمده گرمایش زیست کره و از بین رفتن لایه اوزون است تولید می شود. صنعت ساختمان با مصرف ۵۰ درصد از منابع طبیعی و انرژی موجب از بین رفتن نیمی از زمین های کشاورزی است و سهم قابل ملاحظه و بسزایی در آلوده سازی محیط زیست دارد. پیشنهاد می گردد که استفاده از مصالح های تجدید پذیر و الگوها و فرم های طبیعی می توان به زیست کره کمک کرد زیرا امروزه معماران مسئول بیش از ۷۰ درصد آب و هوا هستند این باعث می شود که وظیفه معماری بسیار حساس گردد پس مصالح سبز و استفاده از طبیعت می تواند تا حدودی به معماران کمک کرد و جلوی گرم شدن کره زمین را گرفت.

منابع

- [۱] قبادیان، وحید، معماری معاصر غرب، معماری ارگانیک، ص ۶۳، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ۲۶.
- [۲] بانی مسعود، ا، معماری غرب ریشه ها و مفاهیم، انتشارات هنر معماری قرن، ۱۳۸۹.

- [۳] لامیو نیانی، ویتوریو مانیگو، معماری و شهرسازی در قرن بیستم، ترجمه لادن اعتضادی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۱.
- [۵] اکبری، ب، بررسی و مقایسه معماری پایدار، ارگانیک و اکوتک، دومین همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری با رویکرد پدافند غیرعامل در معماری و شهرسازی ۱۳۹۳.
- [۶] مشایخ فریدونی، سعید، هنر و معماری، مسکن و محیط روستا، پاییز ۹۲، شماره ۴۳ (فصلنامه علمی پژوهشی).
- [۷] آنتانیا دس، آنتونی، بوطیقای معماری، انتشارات سروش، تهران، ۱۳۸۱.
- [۸] تقی زاده، کتایون، اهمیت تکنولوژی و نقش سازه در شکل گیری اثر معماری با رویکرد ارتقای معماری معاصر ایران، رساله دکتری، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۵.
- [۱۰] فریدونی، هنر مهندسی: درس هایی که باید از طبیعت آموخت، صفحه شماره ۲۷، صص ۱۹-۳۴، ۱۳۷۷.
- [۱۴] گلابچی، محمود، خرسند نیکو، مرتضی، معماری بایونیک، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۹۳.
- [۱۸] کیانی، مصطفی، طبیعت در آثار معماران با نقش سمبل های طبیعت در جهان هستی در فرمال معماران، مجله معماری و فرهنگ، شماره ۸، ۱۳۸۰.
- [۱۹] اکرمی، میرعلی، اصالت ساختار در معماری، مجله معماری و شهرسازی، شماره ۴۲، ۱۳۷۷.
- [۲۱] صدری سواد جانی، ا، طبائیان، م، معماری با طبیعت، بررسی، بررسی معماری ارگانیک از دیدگاه فرانک لویید رایت، اولین همایش طراحی و طبیعت، ۱۳۹۲.
- [۲۲] اسمیت، جان، نمایش اکولوژی، ۱۳۸۲، مجله معماری و فرهنگ، شماره ۱۳.
- [۲۳] عزیزیان، دینا، موفولوژی گیاهان آوندی، ۱۳۷۲، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی تهران. ص ۵.
- [۲۵] صادقی، سامان، (۱۳۸۶)، ساختار و سازه های بیونیک در شکل دهی فرم های معماری، نشریه اینترنتی مرجع مهندسی عمران www.civilca.com.

[۳۱] سایت معماری نیوز منبع <http://memarinews.com/Pages/Printable-News>

- [9] Ruskin, Jhon(1906) The seventh Lamps of Architecture, London, George Allan.
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lotus-Temple>.
- [12] <http://hdrcreme.Com/photos/31330-interior-of-sagrada-familia-in-barcelona>.
- [13] senosianin,Javier.(2003) Bio- Architecture,Oxford,Architectural press.
- [15] [http://www.earchitect.co.uk/images/jpgs/paris/institute_du_monde_arabe_a201011_aw1j](http://www.earchitect.co.uk/images/jpgs/paris/institute_du_monde_arabe_a201011_aw1jpg) pg.
- [20] <http://inhabitat.Com/amazing-calatrava-shade-pavilion-for-the-milwaukee-art-museum/>.
- [24] Guo,D.(2011). Microstructure and crystal ography of Abalone shells, University of Glasgov.
- [26] Hagan; s. (2001),Taking shape : A New contract Between Architectare and Nature, ArchitecTural prees, sT. Louis.USA.
- [27] Mainstone, R. (2001), Developments in Structural Form, Architectural Press; 2nd edition,St.Louis, USA.
- [28] Polano, S. (1996), Santiago Calatrava: Complete Works, Electa, Milan.
- [29] <http://www.biomimicryinstitute.org>.
- [30] f.v Vincent , Julian, stealing Ideas from Nature, centre for biomimeticce, The University of Reading, U.k.

