



## Biomimic Technology and Nature Inspiration

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Analytical Review

#### Authors

Medi H.\* *PhD*,  
Imani M.<sup>1</sup> *MSc*

#### How to cite this article

Medi H, Imani M. Biomimic Technology and Nature Inspiration. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(1):47-55.*

\*Architecture Department, Architecture & Urbanism Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

<sup>1</sup>Architecture Department, Architecture & Urbanism Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

#### Correspondence

Address: Architecture Department, Architecture & Urbanism Faculty, Imam Khomeini International University, Imam Khomeini Boulevard, Qazvin, Iran. Postal Code: 3414896818

Phone: +98 (28) 33901236

Fax: +98 (28) 33780021

medi@arc.ikiu.ac.ir

#### Article History

Received: February 26, 2018

Accepted: May 15, 2018

ePublished: June 19, 2018

### ABSTRACT

**Introduction** The advancement of technology has been a prelude to the emergence of different ways of nature inspiration, such as biomimic, which has led to the lack of recognition of how to model and inspire nature in order to make a scientific review of architectural projects from the biomimic perspective. The aim of this study was to define a model, using biomimic technology and nature inspiration.

**Conclusion** Functionalism is one of the most prominent features of the biomimic architecture. Architecture of Calatrava is organic, simple, and free of Gaudi's forming complexities. His inspiration from nature is sometimes seen only objectively and in formal imitation in terms of metaphorical, formal, and functional imitation, and in Gaudi's works. Movement and Functionalism in Calatrava's works are more pronounced than that of Gaudi due to the different time periods and technological progress and the influence of constructivist architects. Calatrava was influenced by Gaudi in architecture. With the tone of the day and utilization of the structure and technology, Calatrava goes beyond his culture and traditions in the modern context, while Gaudi became a surrealist architect with growing up in the neoclassical framework, relying on the geometry and cultural diversity of his time; supported by the symbols and historical monuments of Spain, influenced by factors such as the environment, family background, religion, and concurrency with the industrial revolution, and affected by formalist and constructivist architects, Gaudi not only immortalized his artistic genius, but also affected constructivist architects after himself. The two architects paid attention to form and function in their inspiration from nature. Gaudi can be considered the biomorphic architect and Calatrava can be considered biomimic architect.

**Keywords** Nature; Architecture; Biomimic; Antoni Gaudí; Santiago Calatrava

### CITATION LINKS

[1] Poetics of architecture: Theory ... [2] Bio architecture: In search ... [3] Analyzing the interaction of human and nature from the resurrection point of view in ... [4] Biomimicry in ... [5] Cambridge advanced ... [6] Architecture follows ... [7] Biobased ... [8] Biomimetic approaches ... [9] House form and ... [10] Nature and its role ... [11] Franz Sternbald's ... [12] Natural ... [13] A history of modern ... [14] Naturalism [15] Literary manifestos of naturalism ... [16] *Sphingopyxis ummariensis* sp. nov., isolated from a hexachlorocyclopentadiene ... [17] Art through the ... [18] Aesthetic in art and ... [19] The evolution of designs: Biological analogy in architecture ... [20] Words and buildings ... [21] A tentative argument for the inclusion of nature-based forms in ... [22] A grammar of visual ... [23] Evolved responses ... [24] A glimpse to interaction ... [25] Organicism in nineteenth ... [26] Theories and concepts ... [27] Towards an organic ... [28] Bionics [29] The role of evolved ... [30] Biomimetic architecture ... [31] What is metaphor ... [32] Human, nature ... [33] Nature as a source ... [34] Gaudi: His life ... [35] Design with nature in bio-architecture with emphasis on the hidden rules of natural ... [36] What Designers ... [37] Human nature and ... [38] Antoni Gaudí, 1852-1926 ... [39] Gaudí, the architect of ... [40] The dancing column ... [41] Calatrava: Public ... [42] The gaudí ... [43] Gaudí: His life ... [44] Santiago ... [45] Park Güell: The utopia ... [46] Santiago Calatrava: Art ... [47] The holy family, Flip ... [48] Calatrava [49] Skyscrapers: Structure and ... [50] The invisible in ... [51] Gaudí: His life ... [52] The universality of ... [53] Gaudí: Geometry, structure and ... [54] Antoni ... [55] Organic ... [56] Performative architecture: Beyond ... [57] Concrete: The vision of a new ... [58] Thirteen ways: Theoretical investigations ... [59] Mosaic techniques & traditions ... [60] Architects' drawings: A selection ... [61] How designers think: The ... [62] Gaudí or space, light and ... [63] Landscapes in history: Design and planning in the eastern ... [64] The beehive metaphor: From Gaudí to ... [65] Barcelona [66] The lessons of ...

## فناوری بایومیمیک و الهام از طبیعت

حسین مدی \* PhD

گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

مرضیه ایمانی MSc

گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

### چکیده

**مقدمه:** پیشرفت تکنولوژی پیش‌درآمدی برای ظهور روش‌های متنوع در زمینه الهام از طبیعت مانند بایومیمیک شده است که موجبات عدم تشخیص نحوه الگوبرداری و چگونگی الهام از طبیعت را به قصد بررسی علمی پروژه‌های معماران از منظر بایومیمیک فراهم کرده است. هدف پژوهش حاضر تعریف الگویی با استفاده از فناوری بایومیمیک و الهام از طبیعت بود.

**نتیجه‌گیری:** عملکردگرایی از مشخصات بارز سبک بایومیمیک معماری است. معماری *کالاتراوا* ارگانیک ساده، اندام‌وار و عاری از پیچیدگی‌های فرمی گائودی است. الهامات وی از طبیعت در سطوح استعاره‌ای، تقلید فرمی و عملکردی و در آثار *گائودی*، گاه تنها به‌صورت عینی و تقلید فرمی دیده می‌شود. حرکت و عملکردگرایی در کارهای *کالاتراوا* به‌علت دوره‌های متفاوت زمانی و پیشرفت تکنولوژی و تأثیرپذیری از معماران سازه‌گرا، در قیاس با *گائودی* نمود بیشتری می‌یابد. *کالاتراوا* در معماری تحت تأثیر *گائودی* بود. *کالاتراوا* با لحن روز و بهره‌گیری از سازه و تکنولوژی، در بستر مدرن از فرهنگ و بوم خود فراتر می‌رود، حال آنکه *گائودی* با رشد در بستر نئوکلاسیسم و با تکیه بر هندسه و تجرد فرهنگی زمان خود معمار سورنالیستی شد که با پشتوانه سمبل‌ها و یادمان‌های تاریخی و فرهنگی اسپانیا و با تأثیر از عواملی مانند محیط، بستر خانوادگی، مذهب، هم‌زمانی با انقلاب صنعتی و تأثیر از معماران فرم‌گرا و سازه‌گرا، نه‌تنها نبوغ هنری خود را جاودانه ساخت بلکه بر معماران سازه‌گرای پس از خود نیز تأثیر گذاشت. این دو معمار در الهام از طبیعت به فرم و عملکرد توجه داشتند. *گائودی* را می‌توان معمار بایومورفیک و *کالاتراوا* را معمار بایومیمیک دانست.

**کلیدواژه‌ها:** طبیعت، معماری، بایومیمیک، آنتونی گائودی، سانتیاگو کالاتراوا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۵

\* نویسنده مسئول: medi@arc.ikiu.ac.ir

### مقدمه

اثرات طبیعت در پژوهش‌ها و خلاقیت‌های عصر حاضر با فناوری‌های نوین حایز اهمیت، دربرگیرنده و پذیرای نقشی مرکزی در تقلید و نمونه‌های استعاری است [1]. پیوند نزدیک بشر به طبیعت در اوایل پیدایش و رویگردانی وی از آن به گفته *گونزالس گورتازار* معمار، موجبات جدایی وی از بهشت را فراهم آورد، این در حالی است که سطوح کنونی فناوری‌های نوین امروزی دانش طبیعی دربرگیرنده روش‌هایی حاصل از تجربه، ساختارها و سیستم‌ها است و معماران، مهندسیین و دانشمندان در تکاپوی استخراج پیام‌های طبیعت در پیشرفت تکنولوژی هستند [2]. واقعیت‌هایی که انسان از راه حواس خود درک می‌کند، در مجموع "عالم هستی" نام دارند که همان "طبیعت به معنی مخلوقات مکانی و زمانی" است [3].

هدف پژوهش حاضر تعریف الگویی با استفاده از فناوری بایومیمیک و الهام از طبیعت بود.

در این پژوهش ابتدا مفهوم بایومیمیک و طبیعت، سپس الهام از طبیعت در گذشته از فرم تا عملکرد و ظهور طبیعت در هنرهای زیبا معرفی شدند. در ادامه مباحث نظری شامل تئوری‌های تقلید از طبیعت و مباحث عملی، دربرگیرنده سبک‌های معماری که به گرایش‌های طبیعت‌گرایانه برگرفته از علوم زیستی توجه دارند، بررسی شدند. استخراج پارامترها در طراحی معماران *آنتونی گائودی* و *سانتیاگو کالاتراوا* (به تفکیک مبانی نظری و عملی)، یافتن معادل

آنها در سطوح اصلی تقلید بایومیمیک، توضیح این پارامترها، تطابق و مقایسه موردی آنها در آثار دو معمار مباحث انتهایی این پژوهش بود تا الگویی با قابلیت تعمیم به سایر روش‌های تقلید از طبیعت به‌منظور بررسی آثار سایر معماران حاصل شود.

### طبیعت و بایومیمیکری

اصطلاح بایومیمیکری، در ابتدا در ادبیات علمی در سال ۱۹۶۲ مطرح شد. از نظر *بنیوس* دانشمند زیست‌شناس بایومیمیتیک، آستره از طرحی طبیعی، تقلیدی هوشمندانه از ژن طبیعت است. لغت میمیتینگ در معنا، اصل عملکردی یک فرم، روند و یک سیستم بیولوژیک در راستای ایجاد راهکاری پایدار بوده است. از نظر معماری معنای متمایزی بین بایومورفیک و بایومیمیکری وجود دارد. در دنیای طراحی بیومورفیک گرایش به سوی خطاها و انحنایی است که به‌صورتی منطقی و متناسب از جانداران برگرفته می‌شود. در این حالت خطوط راست و گوشه‌دار مصنوعی بوده و بافت‌های به‌کاررفته برای سطح محصولات، لزوماً به بافت‌های طبیعی شبیه نیست، اما از نظر بصری، رنگ و روبه این محصولات یا با الهام از طبیعت طراحی و یا مستقیماً از آن شبیه‌سازی می‌شوند. طراحان و متفکران حوزه بایومیمیتیک موضوع طراحی را فراتر از یک فرم و اثر مفهومی دیده و به‌دنبال بهترین کارایی و هماهنگی سیستم با محیط اطراف هستند. چنین گرایشی بدون شک ناشی از تلاقی سه دانش زیست‌شناسی، مکانیک، سازه و معماری است. چنانچه طرح با عملکردی که در اثر فرم طبیعی شکل می‌گیرد، درگیر شود بایومیمیتیک و در غیر این صورت طرح مذکور بایومورفیک نامیده می‌شود [4]. از سویی در لاتین واژه طبیعت، بر معانی دیگری مانند شخصیت، ویژگی ذاتی، کیفیت، مجموعه پدیده‌های طبیعی و عامل موثر برای شکل‌گیری زندگی دلالت دارد [5]. همچنین هستی‌آغازین، ویژگی‌های بنیادی و وراثتی ارگانیزم برخلاف ویژگی‌های محیطی نیز به معنای طبیعت نسبت داده شده و طبیعت از منظر مفهومی هم‌جواری نزدیکی به کلمه یونانی فیزیس به معنی سیستم در حال رشد دارد [6]. مهندسی خلاقیت بایونیک یا بایومیمیکری، شامل فرآیند خلاق الگوبرداری با الهام‌گیری از ساختارها، نظام‌های گوناگون طبیعت و موجودات زنده، برای ایجاد ایده‌ها، نوآوری‌ها و طرح‌های جدید است [7]. در کل بایومیمیکری در تغییر برداشت از طبیعت توانمند است و به‌عنوان منبعی برای راهکارهای زیبایی‌شناسی و مسایل کاربردی محسوب می‌شود [6]. با بررسی تکنولوژی‌های بایومیمیتیک، امروزه سه سطح بایومیمیک با عناوین ارگانیزم، رفتار و اکوسیستم معرفی شده‌اند، که سطح اول به ارگانیزمی خاص مانند گیاه یا حیوان و سطح دوم به رفتار تقلیدشونده آن نسبت داده می‌شود و دسته سوم تقلید کل اکوسیستم و اصول مشترکی است که عامل عملکرد موفقیت‌آمیز آن به حساب می‌آید. هر یک از سطوح مطرح‌شده به‌طور متمایز به ۵ شاخه کوچکتر فرم، ماده، ساختار، روند و عملکرد تفکیک می‌شوند [8].

### تقلید از طبیعت از فرم تا عملکرد

در یک نگاه کلی رابطه انسان با طبیعت، ابتدا مذهبی و کیهان‌شناسی، سپس به‌صورت همزیستی و در آخر به‌ترتیب انسان تکمیل و تعریف‌کننده طبیعت و سپس خالق و تخریب‌کننده آن معرفی شده است [9] و مطابق نظریه *آگوست کنت* در رابطه با سیر معرفت در تاریخ، سه دوره متمایز ربانی، متافیزیک و علمی تعریف شده‌اند. در گذشته برداشت‌های استعاری اولین گونه کاربرد طبیعت

اشاراتی به آینده است [16]. از نظر لئوناردو داوینچی، هنر می‌بایست سازگار با طبیعت باشد، از این رو طبیعت را می‌ستود و هدف او کشف فعل و انفعالات طبیعی بود؛ از سویی دیگر واسیلی کاندینسکی نیز به همین ترتیب به طبیعت عشق می‌ورزید [17]، پیکاسو نیز طبیعت را با هنر و هدفش از زندگی برابر می‌دانست. بنا به گفته جان کانتیل نیز در یکی از طرق هنر، هنرمند کیفیت عالی را در سرچشمه بدوی خود که همانا طبیعت است، می‌جوید. به گفته‌گفته طبیعت آرتیست بزرگی است و طبق نظر کانت طبیعت زمانی زیبا می‌شود که تأثیرش در ما همانند تأثیر هنر شود و در انتها از نظر اوژن دلاکروا آرتیستی که طبیعت خوانده می‌شود، حقیقتاً یک ساخته هنری است [18].

### حیطه نظر: تئوری‌های تقلید از طبیعت

ایده‌های مربوط به طبیعت اغلب در تئوری‌های معماری وارد شده‌اند. به‌عنوان مثال تمامیت که نشانه موجودات زنده است، از جایگاه ویژه‌ای در هنر و معماری به‌خصوص در زمان افلاطون و ارسطو برخوردار بوده است [19]. در دوران رنسانس نیز بسیاری از نظریه‌های رمانتیک در واکنش نسبت به دیدگاه‌های مکانیکی و نوع نگاه به طبیعت قابل تامل است [20].

الیزابت لارنس معتقد است فرم‌های طبیعی می‌توانند به‌عنوان قواعد ترکیبی و خلاقانه برای خلق کارهای هنری مورد توجه قرار گیرند [21] و ارجاع معماری به طبیعت می‌تواند پایانی بر زبان‌های فرمی غیرطبیعی باشد [22]. تامپسون در مقاله رشد و فرم، مقایسات کاملی بین ساختارهای مکانیکی، ساقه گیاهان و اسکلت حیوانات انجام داد [19] و طبق گفته گرینوف اصول ساخت باید از مطالعه اسکلت‌ها، پوست حیوانات و حشرات گرفته شود [19].

کلت تجربه غیرمستقیم از طبیعت را با مفهوم نسبت‌دادن معماری به طبیعت از طریق تداخل در فرم به قصد طبیعی‌تر جلوه‌دادن آن مطرح نمود و طبق نظر اورینر و هیرواگن، به‌کارگرفتن درخت و فرم‌های شبیه آن به‌طور عینی یا سمبلیک می‌تواند تأثیر مثبتی بر انسان‌ها داشته باشد [23].

### حیطه عمل: سبک‌های معماری و تقلید از طبیعت

دگرگونی‌های معنایی زیادی در ترکیب طبیعت با معماری در گذر زمان با عناوینی مانند به‌کارگیری مستقیم طبیعت، بهره‌مندی از سازه و عناصر طبیعی، بهره‌گیری از فرم‌های طبیعی موجود در بطن آن، تمایل به تندیس‌گرایی، الگوهایی با رویکرد کل‌گرایانه، تمایل به نمادگرایی و استعاره به وجود آمده است [10].

سبک‌های معماری نظیر آرت نوو و باروک به سمت الگوهایی ارگانیک متمایل شده و استعاره به رشد طبیعی و روند تکامل داشتند [2]. این‌گرایش در شاخه‌هایی از معماری مدرن بروز یافت چنان که رایت بعد از آشنایی با فرهنگ شرق و به‌ویژه ژاپن در مسیر تفکرات شینکل و سولیوان شکل گرفت، چنان که هر عنصر از بنا جزئی از یک کل واحد است، در حالی که همان جز دارای شخصیتی واحد است. در روند طراحی ارگانیک معماری به‌طور فرمال بخشی از طبیعت و طبیعت بخشی از بنا بود.

ارگانیک واژه‌ای برگرفته از علوم زیستی است که مباحث مربوط به فرم و شکل، ارتباط و مقایسه آنها با موجودات زنده در آن مطرح است [24]. همچنین می‌توان منشا پیدایش آن را در نظریه زیبایی‌شناسی کلاسیک، رنسانس و نیز علم بیان جستجو کرد [25]. به‌طور کلی معماری ارگانیک در ایالات متحده در قرن نوزدهم

در معماری بود [6]، به‌عنوان مثال علم انسان‌شناسی منشا پیدایش گنبد را نوع نگاه انسان بدوی به آسمان دانسته و فرم آن را منتج از کارکردش نمی‌داند [10]. با گذشت زمان، طبیعت در بسیاری از عناصر معماری و تزیینات که تقلید شماتیک از عناصر طبیعی محسوب می‌شدند، وارد شد چنان که فرم‌های هندسی عالم دریایی، به تزیینات قصرهای کرت و میسن، گل‌های وحشی و خار، به سرستون‌های کرنتین و شکل‌های طبیعی ماریچی، به سرستون آیونیک تبدیل شدند [1]. یا برای نمونه در معماری مصر، سرستون نمادی از درخت نخل شد که ویتروویوس نیز ارتباطی بین آن و سبک‌های کلاسیک برقرار کرد. در قرن اکتشاف نیز داوینچی به شرح نوشته معماری وی پرداخت و به کمک آن به کشف ارتباطات هندسی بدن انسان با فرم‌های ناب هندسی مثل مربع و دایره، نایل آمد. بدین سان، الهام از طبیعت چه در قالب فرم و چه از نوع عملکرد، به مراحل جدیدتری وارد شد.

### ظهور طبیعت در هنرهای زیبا

طبیعت و توجه به آن همواره عامل ایجاد جنبش‌های هنری بوده است؛ چنان که چکیده تمامی جنبش‌های رمانتیک در اروپا و پس از آن در آمریکا و یونان باستان متأثر از طبیعت بود و در قرون وسطی نیز طبیعت به‌عنوان خالق آثار هنری و بانی آفرینش انسان، دو صورت ممکن از مظاهر تجلی خداوند را تشکیل داد [11]. به‌واسطه پیشرفت‌های علمی نیز روش‌های نمود طبیعت در آثار هنری دستخوش تغییرات بسیاری در معانی شد. تا اواخر قرن نوزدهم، نقاشی الهاماتی از بطن طبیعت بود و پس از آن در قرن بیستم، عناصر طبیعی دچار تغییرات شگرفی در حوزه معنایی شدند [12]. در بحث تقابل مفاهیم، طبیعت‌گرایی در فلسفه، هنر و ادبیات متشابه، شیوه رمانتیک در معماری بوده و از منظر ریشه‌یابی، از فلسفه به ادبیات راه یافته است. در زبان فرانسوی و انگلیسی نیز، ناتورالیسم به معنای پژوهنده طبیعت است [13].

در مفهوم فلسفی طبیعت‌گرایی، قدرت محض از آن طبیعت و ماده و از منظر ادبی، نخست به معنی مهرورزی به طبیعت و سپس تحت عنوان مکتبی ادبی مطرح شده است [14]، و آن را در اواخر قرون یادشده می‌توان یافت. واژه طبیعت‌گرا سرانجام به هنرهای زیبا نیز راه یافت، چنان که در نوشته‌های کاستانیاری هدف هنر در مکتب فوق، بازآفرینی طبیعت در اوج قدرت آن شد و طبق نظر ناتورالیست‌ها، هنر بازنمایی عینی و تقلیدی از یک واقعیت خارجی بیان شد؛ همان‌گونه که طبق گفته آرنو هولتس، ناتورالیسم آلمانی "هنر مساوی است با طبیعت منهای X؛ که X نشانگر کمبودها در مهارت هنرمند از منظر تقلید است، هنر میل بازگشت به طبیعت داشته و این امر به نسبت شرایط تقلید و چگونگی رویارویی با آن رخ می‌دهد" [15].

یوهان لودویک نویسنده رمانتیک که از طبیعت و هنر به‌عنوان زبان‌های ویژه خداوند و انسان‌های برگزیده او یاد کرده، به افزایش قدرت هنر به‌وسیله ترسیم طبیعت در پوشش مذهبی معتقد است. به‌عبارتی هنر ابزاری در خدمت شناساندن بهتر طبیعت بوده و والاترین توانایی انسان است، چنان که طبیعت متعالی‌ترین خلقت خداوند است [11]. باید اضافه کرد که مفهوم طبیعت در نظر هنرمند براساس باور وی به جهان و هنر شکل می‌گیرد و خیال او در مرتبه‌ای متعالی‌تر، جهان را محل الهام و خلق اثر قرار می‌دهد و به‌منظور پرهیز از تقلید صرف از طبیعت، هنرمندان با گزینش الگوهایی از طبیعت و ترکیب آنها با یکدیگر، قالب‌های بدیعی ایجاد می‌کنند، چرا که هر یک از پدیده‌های طبیعی، برای آنها یادآور

## پیش‌زمینه‌های عملی فناوری بایومیمیک

**استعاره:** استعاره به سه دسته محسوس، نامحسوس و ترکیبی تقسیم شده است؛ چنان که در استعاره نامحسوس سرچشمه نخستین خلق اثر، نوعی مفهوم، ایده، حالت انسانی یا کیفیتی ویژه و در استعاره محسوس، بعضی از ویژگی‌های بصری یا مادی و در استعاره ترکیبی، آمیزه‌ای از این دو دیده می‌شود<sup>[1]</sup>. در بازگشایی معنای استعاره به گفته کاسیرر، هر گاه معنایی به هر نوعی در پس حجاب شکل ایجاد شود، شکلی از نماد ایجاد شده است و در طراحی نیز، در جابه‌جایی از موضوعی به موضوع دیگر با بهره‌گیری از قوه تخیل رابطه انتزاعی برقرار شده که بیانگر استعاره است<sup>[31]</sup>.

**تناسبات:** به گفته ویتروویوس، معماری باید هماهنگ و متناسب با الگوی بدن انسان شکل گیرد. همان گونه که مشهود است زیبایی، هارمونی و سازگاری همه اجزا در ذات طبیعت نقش بسته و برای نمونه می‌توان به فرم درخت اشاره داشت که در معماری انگیزه تاریخی داشته و الهام بخش معماران و مهندسان برجسته قرن بیستم مانند *رایت*، *نروی*، *میلارت* و *وتو* بوده است<sup>[24]</sup>.

**فرم و عملکرد:** معماری فرم تابع عملکرد یا عملکرد تابع فرم، نخست در زیست‌شناسی مطرح شد<sup>[24]</sup> و با توجه به این که کارکرد به صورت بی‌واسطه با شکل مرتبط است، شکلی بدون عملکرد و عملکردی بدون شکل وجود ندارد<sup>[2]</sup>. بیان در معماری نیز باید در حل کردن نیروهای فیزیکی عمل‌کننده در یک کالبد ارگانیک، صورت گیرد<sup>[6]</sup>. با این حال *فلیکس کاندلا* از معمارانی است که ابتدا شکل سازه و سپس عملکرد آن بررسی کرد<sup>[2]</sup>. در مجموع قیاس ارگانیک یا به ظاهر و ترکیب اجزا یا با عملکرد ارتباط داشته که این دو خود با هم در تقابل هستند<sup>[19]</sup>.

**حرکت و رشد:** حرکت و رشد از ویژگی‌های مظاهر طبیعی بوده، اگر چه فرم‌های حیوانی نسبت به گیاهی پیچیده هستند زیرا یکی از خصایص فرمی آنها حرکت است<sup>[32]</sup>.

**مصالح:** بهره‌گیری از خلاقیت در مصالح و سیستم‌های سازه‌ای، فرم‌های طبیعی را به نمونه‌ای برجسته برای معماری انسان‌ساز تبدیل می‌کند<sup>[33]</sup> و تنوع بافتی و رنگ آنها، معماری را با زندگی، طبیعت و بیان می‌آمیزد<sup>[34]</sup>.

**بافت؛ تقلیدها از بافت طبیعی در معماری در قالب سه فرم:** بافت با عدم توجه به ساختار، استعاره‌ای با کاربرد آستره فرمی از طبیعت و براساس قوانین طبیعی نمود می‌یابد<sup>[35]</sup>.

**پایداری:** الهام از طبیعت همواره همجوار مبحث پایداری بوده و امروزه بسیاری از مباحث به ایده بازگشت به طبیعت روی آورده‌اند.

**مدل و اسکیس:** در روند خلق معماری، استفاده از مدل و اسکیس مهم محسوب می‌شود، چنان که به گفته *آرتور سایمونز* تصویر، حدفاصلی مابین شی موجود و تفکر است و *برایان لائوسون* مدل‌سازی کامپیوتر و یا ساخت ماکت را روندی در جهت تکمیل ایده طراح مطرح می‌کند<sup>[36]</sup>.

**هندسه:** از تنوع عناصر و هندسه ویژگی‌های سیستم‌های طبیعی حاصل می‌شود<sup>[37]</sup>. به طور کلی در طبیعت خط صافی وجود ندارد و مشخصه معماری طبیعی مجموعه‌ای از فرم‌های هندسی است<sup>[21]</sup>. از مهم‌ترین الگوهای هندسی در ساختار موجودات زنده نیز، ترکیب هندسه آزاد و منظم است که هندسه‌های آزاد در طبیعت الگویی مناسب برای طراحی شهری و هندسه منظم قابل کاربرد در معماری است<sup>[32]</sup>.

**تکنولوژی:** الهام از طبیعت، تاثیرگذار بر تکنولوژی طراحی سازه‌های معماری است و استفاده از نرم‌افزارهای کاربردی نیز در الگوبرداری

توسط *فرانک فرنس* و *لوییس سالیوان* شکل گرفت و اوج شکوفایی این نظریه را می‌توان در آثار *رایت* نیز مشاهده کرد<sup>[26]</sup>. به گفته وی ارگانیک به معنای زنده‌بودن و توسعه‌یافتن است<sup>[27]</sup>. معماران بسیاری در این حوزه فعالیت داشتند؛ از جمله *جان راسکین* که در جستجوی روش‌هایی برای نظاره طبیعت از تمام زوایای ممکن بود یا *لویی کان* که نقش طبیعت در تفکر وی، توجه او را به سرشت اشیا معطوف نمود و تقلید او صرفاً ظاهری صوری از فرم‌های طبیعی نبود. در حوزه معماری کنونی، بایونیک به علم سیستم‌هایی گفته می‌شود که شالوده آنها سیستم‌های زنده بوده یا خصوصیات آنها را دارند، یا به سیستم‌های زنده شبیه هستند<sup>[28]</sup>.

در این مبحث نمونه‌های گوناگونی از سیستم‌های ساختمانی نیز به کمک مشاهده طبیعت، در علم بایونیک مطرح شده که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) سیستم‌های ساختمانی ستونی با الهام از گیاهان  
۲) سازه‌های پوسته‌ای با الهام از فرم‌های گنبدی شکل موجود در طبیعت

۳) سازه‌های کابلی کشسان با الهام از تارهای عنکبوت  
این در حالی است که بایونیک به طبیعت دیدگاه تکنولوژیک داشته و ارگانیک با دید رمانتیک به آن می‌نگرد<sup>[10]</sup>.

عناوین مشابه دیگری نیز در این زمینه نمود یافته‌اند، مانند *زومورفیک* و *بایومورفیک* که به‌عنوان نوعی از معماری با شکل‌های بی‌قاعده و منحنی‌وار معرفی شده‌اند<sup>[21]</sup>. در زمینه معماری *زومورفیک*، طبق گفته *ولیمز آلدرسی* به‌کارگیری عینی فرم‌های جانوری در معماری گاهی منجر به نتایج مضحک می‌شود. *اوژن تی سوی* از معماران فعال این حوزه است که فعالیتش در ادامه روند ارگانیکی *سالیوان* و *رایت* بود و در واقع طراحی‌های وی منجر به معماری حیوان‌گونه یا *زومورفیک* شده است<sup>[21]</sup>. از گونه‌های دیگر تقلید سمبلیک از طبیعت، لکه‌هایی شبیه به چشم هستند که مشخصه معماری *بایوفیبیک* محسوب می‌شوند، اگر چه *آیکن* معتقد است این نوع اشکال، در هنر بیشتر گسترش یافته‌اند و در ادامه به یکی از کارهای *پیکاسو* اشاره می‌کند<sup>[29]</sup>. در معماری نیز نمونه‌ای از فرم شبیه چشم در طراحی ارگانیک *آیمر ماکووز* دیده می‌شود<sup>[30]</sup>. از مباحث مشابه در حوزه تقلید از طبیعت نیز می‌توان به *مورفوجنسیس* به‌عنوان یک روند بایولوژیک اشاره کرد و در پارامتریک نیز، طراحان با پارامترهای الگوریتمی، هندسه پیچیده ارگانیکی تولید می‌کنند و نتایج استخراجی آن را در نما و سازه ساختمان به کار می‌گیرند<sup>[6]</sup>.

## استخراج پارامترهای بایومیمیک

با مطالعه مطالب فوق، پارامترهای مستخرج به دو بخش عملی و نظری تقسیم و پارامترهای بخش نظری در تطابق با سطوح بایومیمیک تعریف شدند (جدول ۱).

جدول ۱) تطابق پارامترهای عملی با سطوح بایومیمیک (نگارنده)

ویژگی طراحی	سطوح بایومیمیک	پیش‌زمینه‌های عملی
حرکت و رشد	فرم، عملکرد و روند در سطح ارگانیزم و رفتار	فرم و عملکرد در هر سه سطح
فرم و عملکرد	فرم و عملکرد در هر سه سطح	هر ۵ تقسیم در سه سطح
استعاره	ماده در هر سه سطح	فرم در هر سه سطح
مصالح	فرم در هر سه سطح	عملکرد و رون در سطح رفتار
بافت	عملکرد و رون در سطح رفتار	
پایداری		
ابزار طراحی		
مدل و اسکیس	فرم در همه به‌جز ماده در سطح ارگانیزم و رفتار	
هندسه	فرم در سطح ارگانیزم	
تکنولوژی	هر ۵ تقسیم در سه سطح	

پرنده‌وار دارد. یک رودا فلیپ پلی است که ورودی آن از هر دو طرف شبیه به فرم بال پرستو است<sup>[48]</sup>. در پروژه برج مخابراتی مونتجویی ایده اصلی *کالاتراوا* دست بوده و از سویی دیگر برگرفته از پیکر انسانی زانو زده در حال تقدیم چیزی است<sup>[44]</sup>.

وی در مجموعه ورزشی المپیک، پوشش سقف یک راهرو را شبیه به ستون فقرات انسان طراحی نمود و در طرح پل آل‌میلو، از مجسمه نیم‌تنه دنده الهام گرفته است<sup>[44]</sup>. در پل ترینیتی نیز کابل‌های پل، اندام انسان در حال حرکت را به یاد می‌آورند. فرم نهایی سازه در طراحی ترنینگ تورو تفسیری از بدن یک انسان پیچ‌خورده یا بیانی نمایشی از یک فیگور کلاسیک است<sup>[49]</sup>. به گفته وی، شکل کلیسای جامع اکلند، تصویری از دو دست به هم متصل است. به‌طور کلی استان در هم گره‌خورده از مضامین مورد علاقه وی بوده و پاولیون کویت به دنده و یا انگشت شباهت دارد. وی تصاویری مانیومنتال و یادآور قفسه سینه‌های بزرگ مقیاس، مانند استخوان‌های مهره نهنگ در سازه پروژه‌ای در شهرک والنسیا به کار می‌برد که انعکاس آن در آب، ظاهری شبیه به چشم انسان را تداعی می‌کند. باید اضافه نمود که فرم‌های چشم‌مانند در کارهای وی زیاد دیده می‌شوند، برای نمونه نزدیکی ساختمان اپرا و قسمت پایین برج مخابراتی مونتجویی<sup>[50]</sup> و حتی نمای برج مراقبت سان‌دیگا یادآور پلک چشم است<sup>[44]</sup>.

**تناسبات:** در کارهای *گائودی* تناسبات به‌کاررفته از نظر مقیاسی تا حدودی با نوع عینی خود مشابه هستند؛ این در حالی است که در پروژه‌های *کالاتراوا* مقیاس‌ها بزرگتر از مقادیر عینی در طبیعت به کار رفته‌اند.

**فرم و عملکرد:** حس زیبایی‌شناسی *گائودی*، همواره با کاربرد، عملکرد سازه و هزینه در ارتباط بوده است. به اعتقاد وی ظاهر خارجی بنا نباید چیزی بیش از انعکاس محتویات، مکانیک و احتیاجات ساختاری‌اش باشد<sup>[51]</sup> و در پس پیچیدگی ظاهری پروژه‌های او، تمایل بارزی به ترکیب و هماهنگی عوامل معماری، سازه‌ای، هندسی، مکانیکی، فرم‌های چندگانه و غیرمرسوم وجود دارد که هیچ‌یک به‌طور سطحی و رویه‌ای شکل نگرفته‌اند<sup>[52]</sup>. سازه، نقطه مرکزی کار وی بود و او به اسکلت حیوانات و نیروی محرکه ماهیچه‌ها و گیاهان توجه داشت<sup>[2]</sup>، تا جایی که در ساگرادا فامیلیا به ترکیب و تناسبی از زیبایی، فرم و عملکرد، ظرف و مظهر و در کل به‌کارگیری جمیع هنرها در کاری منطقی رسیده است و ستون‌های درخت مانند ساگرادا فامیلیا برای تحمل بار طاق‌های درهم‌تنیده طراحی شده‌اند<sup>[53]</sup>. توجه وی به عملکرد و سازه تا حدی است که پشت‌بندها را راه‌حل‌های تنبل می‌نامد و از این رو ستون‌های مایلی ابداع می‌کند که در اثر توجه به مسیر نیروها و فشارهای وارده طراحی شده‌اند<sup>[54]</sup>. در سمت مقابل، زبان *کالاتراوا* نیز متأثر از توجه به کاربرد روش‌های سازه‌ای موجود در طبیعت ارگانیک بوده و طبق گفته وی، کار با سازه‌های ایزواستاتیک او را با دیگرام‌های شماتیک طبیعت آشنا می‌سازد<sup>[2]</sup>. فرم سازه‌ای درخت، اسکلت و ساختارهای متحرک منبع الهام ساخته‌های *کالاتراوا* (همانند *گائودی*) هستند<sup>[55]</sup>. او همچون *گائودی* قیاس سازه‌ای را در طبیعت جستجو می‌کند. تصور ذهنی *کالاتراوا* از سازه‌ها به اسکلت بدن نیز برمی‌گردد و ایده سازه‌های متحرک در هر مرحله از کار وی گذر با شکوهی از زیبایی‌شناسی را در بر می‌گیرد که بیانگر اندیشه تطابق ارگانیزم‌های زنده با محیط است<sup>[48]</sup>.

برای مثال در ایستگاه تی.جی.وی، شکل هندسی لبه پایین‌رونده

از فرم‌های ارگانیزمی، در روند فرم‌یابی موثر هستند، چنان که طبق گفته *توماس و رافال* طبیعت سرمنشا حل مشکلات طراحی است و از طرفی روش‌های مهندسی به پیشرفت قابل توجهی در زمینه بیولوژی رسیده است<sup>[33]</sup>.

## تطابق پارامترها با آثار دو معمار پیش‌زمینه‌های عملی

استعاره به‌عنوان پارامتری از بایومیمیک به سه دسته گیاهی، طبیعی و جانوری تقسیم می‌شود:

**گیاهی:** در کلیسای ساگرادا فامیلیای *گائودی* ستون‌های درونی بنا با شباهت به درخت، به‌عنوان نمونه‌های سمبلیک از طبیعت قابل مشاهده هستند<sup>[21]</sup> و در خانه کازا کالوت وی از شیوه باروک در تزیینات با تم گیاهی استفاده کرد، طراحی داخلی خانه میلا نیز برگرفته از گیاهان دریایی است<sup>[38]</sup>. در کازا ویسنس شکل تزیینات در و پنجره‌ها برگ‌های نخل و گل آفتابگردان است<sup>[39]</sup>. الهام وی از طبیعت بسیار عمیق بوده تا حدی که در پارک گوئل از ستون‌های دوریک استفاده کرده است که به گفته جوزف ریکورد، این سبک‌های کلاسیک کپی کاملی از طبیعت هستند<sup>[40]</sup>. در مقابل، پروژه‌های *کالاتراوا* نیز با مورفولوژی گیاهی و جانوری در زمین، عمق دریا و تخیالات وی ارتباط دارند<sup>[41]</sup>.

معماری وی با فرم‌های طبیعی مانند برگ‌ها، اسکلت حیوانات و پرندگان تفسیر شده است<sup>[42]</sup>. اجزای ساختمانی تعدادی از پروژه‌های وی نیز به سازه‌های درختی شبیه هستند، اگر چه جنبه سمبلیک دارند<sup>[43]</sup>. سازه درختی در موزه علوم والنسیا، مرکز بازرگانی بل، میدان گالری و هریتج تورنتو به کار رفته است<sup>[44]</sup> و در پاولیون کویت نیز سازه به شاخه درخت نخل شباهت دارد<sup>[43]</sup>. شاید بتوان ادعان داشت که درخت عنصر اساسی طرح او برای کلیسای جامع سنت جان و یادآور اثر *گائودی* در ساگرادا فامیلیا است<sup>[2]</sup>.

**طبیعی:** فرم‌های موج به‌عنوان استعاره‌های طبیعی محسوب می‌شوند. *گائودی* در نیمکت‌های پارک گوئل از موج آب الهام گرفت<sup>[45]</sup> و کازا میلا را همانند تپه‌های اطراف بارسلون طراحی کرد<sup>[2]</sup>. از پروژه‌های *کالاتراوا* نیز می‌توان به فرم موج در دیوار ملل مجموعه ورزشی المپیک آتن و ورودی موزه میدوز اشاره داشت<sup>[46]</sup>.

**جانوری (انسانی و حیوانی):** *گائودی* برای طراحی مجسمه‌ها به مطالعه آناتومی بدن انسان و ساخت مدل‌های سیمی برای یافتن فیگور مناسب مجسمه‌ها پرداخت<sup>[47]</sup>، تا حدی که در پارک گوئل، نیمکت‌ها را براساس شکل بدن انسان طراحی کرده است<sup>[2]</sup>. شومینه پیچ‌خورده کازا میلا یادآور شمایی از انسان است یا برای نمونه *پاولیون گوئل* به دروازه اژدهایش مشهور و کوبه درب در کازا کالوت سوسک‌مانند است. نمای ساگرادا فامیلیا مملو از حیوانات است و کازا باتلو به ماهی شباهت دارد که در سقف به اژدهای افسانه‌ای مانند می‌شود. نیمکت‌های پیچ‌خورده پارک گوئل هم به دو مار شبیه هستند که در ورودی بنا روبه‌روی یکدیگر قرار گرفته‌اند<sup>[45]</sup>. علاوه بر آن در نمای کازا باتلو ستون‌های استخوان‌مانند و اتصال آنها به هم تداعی‌کننده استخوان‌های پا و اتصال‌شان به لگن است و بالکن‌های طبقات فوقانی با توجه به استخوان سر یا جمجمه ساخته شده‌اند. این نوع الهامات از طبیعت در کارهای *کالاتراوا* نیز دیده می‌شود. ایستگاه لیون ساتولاس تی‌جی‌وی به پرنده‌ای در حال پرواز تشابه دارد و به‌نوعی تداعی‌کننده دیو ماهی است<sup>[44]</sup>. کوادراچی پاولیون نیز ماهیتی



پیشرفت آنالیزی ماکتی که تشریح‌کننده طبیعت است، ارتباط می‌یابد<sup>[50]</sup>.

**هندسه:** گائودی فرم‌های ارگانیک و هندسی طبیعت را مطالعه و به دنبال زبانی برای بیان این فرم‌ها در معماری بود، غارها و کوه‌ها الهام‌بخش وی بودند. وی طبیعت را به فرم‌های هندسی مانند سهموی، مخروطی، هذلولی ترجمه و سپس از آنها استفاده کرد<sup>[62]</sup> که نمونه‌های بسیاری از این سطوح منحنی را در نيزارها، گیاهان و استخوان‌بندی‌ها یافته است. بنا به اعتقاد کالاتراو نیز هندسه شالوده و مبنای ادراک معماری است و زبان هندسه و سازه در کنار خواص مصالح و عالم طبیعت برای وی سرچشمه‌های مهم الهام هستند.

**پایداری:** اگر چه به پیشگویی گائودی معماری آینده می‌بایست تقلیدی از طبیعت به سبب خردمندانگی و اقتصادی بودن آن باشد، متاسفانه این طور به نظر می‌رسد که در پروژه‌های کالاتراو این موضوع تحقق نیافته، چرا که وی علاقه کمتری به پاسخگویی به محیط از خود نشان داده است، موضوعی که در مغایرت با معماری سبز قرار می‌گیرد. اجزای ساختمانی متحرک پروژه‌های وی، انرژی زیادی را صرف می‌کنند و علی‌رغم آن که او در کارهای اولیه خود احترام بیشتری برای فضاهای عمومی قابل بوده است، بعدها سازه‌های ساخته شده خود را به‌عنوان مانیومننت شهری، تحمیل نمودند. اگر چه به گفته او، هدف وی طراحی ساختمان‌هایی است که برای محیط آنها ساخته شده باشند<sup>[50]</sup> با این حال او در تعداد اندکی از پروژه‌های خود به مسایل محیطی، اقلیم و پایداری توجه می‌کند.

ما پیش‌زمینه‌های نظری را به موارد زیر تقسیم کردیم:

**تأثیرات از محیط طبیعی:** گائودی نظاره‌گر موفق در ساختارهای طبیعی بود<sup>[63]</sup> و بارسلونا تأثیرات فراوانی بر ذهن گائودی داشته است، چرا که چشم‌انداز طبیعت در آنجا اگر به تمامی واقع‌گرایانه نباشد، می‌توان آن را سورئال نامید و در تضاد بین سادگی و جلوه‌گری طبیعت است که منشا طراحی‌های وی را می‌توان یافت<sup>[39]</sup>. طبق گفته او مردم مدیترانه حسی ذاتی نسبت به هنر و طراحی دارند<sup>[62]</sup>، همان گونه که او تماس با طبیعت را دوست داشته و سفرهای زیادی به دور کاتالان و جنوب فرانسه کرده است. به گفته خودش طبیعت همواره معشوقه وی بوده است<sup>[64]</sup>. از سوی دیگر کالاتراو نیز در شمال غربی اسپانیا، در کنار ساحل مدیترانه، با همان کیفیت سیال‌گونه‌ای که بین او و گائودی مشترک است به دنیا آمده و در زمان دانشجویی مجذوب معماری بومی شده است و ۵ سال از عمر خویش را به سفر در کناره دریای مدیترانه می‌گذراند.

**تأثیرات از بستر خانوادگی:** گائودی دوران کودکی را در کارگاه خانواده سپری کرد و به همین علت به درک و آرایه حجم و ساختارهای سه‌بعدی دست یافته بود<sup>[38]</sup> چرا که حرفه خانوادگی پدر و مادر وی صنعتگری بوده است<sup>[39]</sup>.

**تأثیرات مذهبی و نگاه به طبیعت از دید مذهب:** تمایل به بازسازی، تداوم و بهبودبخشیدن به طبیعت، تقریباً در تمامی آثار گائودی آشکار است. او طبیعت را معماری خداوند دانسته و خود را واسطه معماری میان خداوند و انسان‌ها می‌شمرد<sup>[39]</sup>.

**تأثیرات اجتماعی اقتصادی فرهنگی:** تولد گائودی مصادف با آغاز عصر انقلاب‌ها، اکتشافات و تحولات، انقلاب سیاسی و فرهنگی بود<sup>[39]</sup> و دوران دانشجویی وی با جنبش مدرنیسم همزمان بوده است. سیستم‌های رایج کاری در آن زمان، طرح‌های پیشنهادی او

ساختمان نتیجه محاسبات پیچیده نیروهای سازه‌ای است<sup>[44]</sup> یا در ایستگاه راه‌آهن *استادل هوفمن*، ستون‌های مورب علاوه بر تصمیمات زیبایی‌شناسانه با توجه به مساله ایستایی ساختمان طراحی شده‌اند<sup>[44]</sup>. می‌توان گفت وی به‌عنوان وارث گائودی، معماری‌اش تا حد زیادی با مشخصه نیرو و فشار شناخته می‌شود؛ همان گونه که برای مثال بخش الحاقی کالاتراو به کلیسای سنت جان، منطق سازه‌ای ساگرادا فامیلیا را به یاد می‌آورد<sup>[41]</sup>.

**حرکت و رشد:** گائودی به بافت‌داربودن و زنده به‌نظرآمدن بناها معتقد بود و همان طور که موجودات زنده رشد می‌کنند، تمایل داشته تا ساختمان‌های در حال رشد طراحی کند<sup>[2]</sup>. برای مثال در هشتی و سرداب کلیسای کولونیا، ستون‌هایی به شکل درختان در حال رشد طراحی کرده است. از سویی کالاتراو نیز به بیان دو ویژگی برجسته در طبیعت و درخور ساختمان می‌پردازد که یکی از آنها توانایی موجودات زنده برای دگرگونی، رشد و حرکت است و مخالف ایستا دیده‌شدن بستر معماری است چرا که به گفته وی همواره موضوعاتی پویا و متحرک وجود دارند. اعتقاد وی به این امر تا حدی است که هسته اصلی در همه طراحی‌های وی، نیرویی تحت کنترل است که هر لحظه احتمال به حرکت درآمدن دارد<sup>[50]</sup> و همواره سقوط را در مرز افتادن به مبارزه می‌طلبد؛ برای مثال در موزه میلواکی، طرحی شبیه به بال متحرک طراحی کرده است<sup>[56]</sup>.

**مصالح:** گائودی صنایع دستی متفاوتی از قبیل سرامیک و شیشه، آهن‌کاری و نجاری را با کارش ترکیب نموده و از قطعات سرامیکی دور ریز، استفاده کرده است<sup>[57]</sup> و علاوه بر بتن مصالح ارگانیک دیگری مانند آجر، سنگ و موزاییک را نیز به کار می‌برد. در مقابل کالاتراو به‌ندرت از مصالحی غیر از شیشه، بتن و آهن استفاده می‌کند. رنگ انتخابی وی همواره سفید، سیاه یا خاکستری است، در حالی که کارهای گائودی گرم و سرشار از احساس هستند<sup>[42]</sup>. وی در صحبت با دانشجویان دانشگاه ام‌آی‌تی در سال ۱۹۹۷ درباره اهمیت فهم مصالح و انتخاب صحیح آنها صحبت می‌کند و معتقد است که مصالح پشتوانه فیزیکی معماری هستند. مصالح مورد علاقه او، آهن، به‌عنوان گوشت و استخوان بنا بود و به گفته هاریسون نشانه لایه عمیقی از استعاره است<sup>[58]</sup>. در حوزه تأثیر از گائودی، به نظر می‌رسد که کالاتراو از میان تمامی کارهای گائودی، تنها کاشی‌های شکسته سفید در شومینه لاپدرا را انتخاب نموده و آن را در پایه برج مخابراتی مونتجویی در بارسلون به کار برده است.

**بافت:** گائودی در مصالح خود از بافت استفاده کرد و با کمک‌های جوزف ام‌خولیو، آثار موزائیکی برجسته‌ای را در بارسلونا خلق نموده است. به‌عنوان مثال می‌توان به نمای ساختمان کازابلانو، شومینه لاپدرا و سکوه‌های نشیمن و مجسمه پارک گوئل که کارهایی با پوشش موزاییکی هستند اشاره نمود<sup>[59]</sup>.

**اسکیس و ماکت:** روش گائودی همواره استفاده از ماکت‌ها برای آزمودن ایده‌هایش بوده و ماکت‌های وی از حیث دقت به شبیه‌سازی‌های کامپیوتری می‌مانند و نشان می‌دهند که وی چگونه به‌طور کامل و بی‌نقصی از هماهنگی طبیعت در فرم‌های مصنوعی خود استفاده کرده است<sup>[60]</sup>. اسکیس‌های گائودی به ظرافت و پرکاری معروف هستند، این در حالی است که کالاتراو به‌ندرت با جزئیات طراحی می‌کند. آرتور سایمونز، کالاتراو را طراحی آزمایشی معرفی کرده زیرا او طی روند طراحی و از روی عادت، برای سریع‌تر رسیدن به هدف، آزمودن ایده اصلی و مجسم‌ساختن آن توسط ماکت‌ها و مدل‌سازی‌های سه‌بعدی، اسکیس می‌زند<sup>[61]</sup>. به گفته کالاتراو فعالیت یک مهندس به

او به شدت تحت تاثیر پیوندی میان معماری و هنر تزیینی است [38]. او ابتدا به هنرهای شرقی از طریق مطالعه نوشته‌های والتر پیتر، جان راسکین و ویلیام موریس علاقمند شد و سپس به جنبش نئوگوتیک گرایش یافت و ایده‌های ویوله لودویک را دنبال کرد [66] و از او دقت و عقلانیت در ساخت را فرا گرفت. لودوک و گائودی به عملکردی بودن نزدیک نبودند و صرفاً اولین گام‌ها را به سوی عنصری مهم در مدرنیته معماری و دقت ساختاری برداشتند. کالاتراوا نیز از هنرمندانی مانند سزان، کله، موندریان، روتکو، پیکاسو و رودن، الهام گرفته است. او مجسمه‌های برانکوزی را تحسین می‌کند و می‌گوید "مجسمه نقش اساسی در کندوکاوهای معمارانه من بازی می‌کند". آبستره، در تصاویر فیگوراتیو کالاتراوا نمود می‌یابد و نتیجه نهایی محاسبات پیچیده هنری است [50].

دیدگاه کالاتراوا از روپرت مایلارت و پیرلویچی نروی، ادوارد تروجا و فلیکس کاندلا فراتر و در جستجوی زبان نوین فرم بر پایه دانسته‌های فنی است. به اعتقاد جودیدیو، وی بدون شک تحت تاثیر فلیکس کاندلا بوده است. ادوارد تروجا نیز به احتمال زیاد متاثر از گائودی است [44]. در مجموع کالاتراوا کار خود را ادامه کار گائودی و گونزالس می‌داند، چرا که پدر و پدربزرگ گونزالس در پروژه‌هایی همچون پارک گوئل برای گائودی فلزکاری می‌کردند [44]. در پژوهش حاضر با بررسی پارامترهای معماری بایومیمیک چارچوبی برای ارزیابی پروژه‌های معماری تعیین شد، و ضمن آنکه سطوح متفاوت معماری بایومیمیک را با شاخصه‌های پروژه‌های دو معمار مطابقت می‌دهد، می‌تواند در شناخت علمی و اصولی جهت‌گیری این دو معمار و دیگر معماران این حوزه فناوری نوین موثر واقع شود (جدول ۲).

را رد می‌کردند، اگر چه بسیاری از مدرنیست‌ها او را از نظر کارهای تکنیکی، سازه‌ای و هنری منحصر به فرد می‌دانستند [52]. از سویی کالاتراوا اوایل دوران تحصیل خود را در سال‌های ساختارگرایی سپری کرد که جنبش‌های تک نیز در این سال‌ها رخ داد و تکنولوژی به‌عنوان مترتیبال مدرنیست‌ها شناخته شد [26].

**تاثیرات و گرایش‌های شخصی در هنر و معماری:** فرم‌های پویا، سطوح موج و رنگی در طرح‌های گائودی، تکنیک‌های جنبش آوانگارد بوده و تعدادی از تاریخ‌نویسان هنر وی را با کوبیسم، سوررئالیسم و اکسپرسیونیسم ارتباط داده‌اند. فرماندو چوکا، گائودی را هنرمند واسطی میان گویا و پیکاسو می‌داند و طبق نظر الکساندر سیرسی، گائودی یک نقاش آبستره و خلاقیتش جلوتر از هنر پلاستیک غیرفیگوراتیو بوده است [51]. او بر هنرمندان و معماران زیادی تاثیر گذاشته است: برای مثال در آن دوره سالوادور دالی از کارهای گائودی الهام گرفت و جان میرو نیز تحت تاثیر پارک گوئل بود [65]. از سویی پیکاسو ایده کوبیسم را از یکی از آتش‌دان‌های کاخ گوئل گرفت [2]، حتی تاثیر کلاس‌های ساگرادا فامیلیا را می‌توان در آثار لوکوربوزیه، ادواردو تروجا، پیرلویچی نروی، فلکس کاندلا و سانتیاگو کالاتراوا جستجو کرد [38]. کازا ویسنس علاوه بر تاثیر بر معماران مدرنیست، ردپایی در شیوه بین‌المللی باقی گذاشت که در قرون بعدی و در دیگر کشورها با متغیرهای محلی تحت عناوین آرت نوو یا یوگند استیل شناخته شد [39].

گائودی در زمان دانشجویی در اسپانیا تحت تاثیر اندیشه‌های میلوی فونتاناس با برداشت‌های رمانتیکی که وی از قرون وسطی داشت، بود، اگر چه طرح‌های او پیشرفته‌تر از هنر نو بود و معماری

جدول ۲) تطابق پارامترهای طراحی با الهام از طبیعت، با سطوح بیومیمیک از جنبه عملی (نگارنده)

پارامترها/معمار	نمود	سطوح اصلی	سطوح فرعی
<b>هندسه</b> کالاتراوا گائودی	هندسه ارگانیک ساده: فرم‌های مخروطی و مکعبی هندسه ارگانیک: خطوط منحنی- الهام از فرم‌های طبیعی: کوه‌ها، غارها و گیاهان	فرم فرم	ارگانیزم ارگانیزم
<b>مدل و اسکیس</b> کالاتراوا گائودی	مدل‌سازی کامپیوتری، ماکت، اسکیس ماکت و اسکیس	ارگانیزم و رفتار ارگانیزم و رفتار	فرم، ساختار، عملکرد و روند فرم، ساختار، عملکرد و روند
<b>پایداری</b> کالاتراوا گائودی	توجه به اقلیم، عدم توجه به معماری پایدار، عدم توجه به بستر و محیط طراحی توجه به محیط: هم‌آوایی با طبیعت	ارگانیزم و اکوسیستم ارگانیزم و اکوسیستم	فرم و عملکرد فرم و عملکرد
<b>مصالح</b> کالاتراوا گائودی	بتن، آهن، شیشه- رنگ سرد بتن، آجر، سنگ، موزائیک و سرامیک رنگی- رنگ گرم	- -	- -
<b>حرکت و رشد</b> کالاتراوا گائودی	حرکت در اجزای ساختمان: حرکت مهارشده، حرکت عینی و مکانیکی حرکت غیرمکانیکی یا حسی: بافت، نماد گیاهی و جانوری، خطوط منحنی	ارگانیزم و رفتار ارگانیزم	فرم و روند فرم
<b>بافت</b> کالاتراوا گائودی	عدم بافت دارای بافت	- ارگانیزم	- فرم
<b>تکنولوژی</b> کالاتراوا گائودی	بستر تکنولوژیک محدودیت تکنولوژیک	ارگانیزم و رفتار ارگانیزم و رفتار	فرم، ساختار، عملکرد و روند فرم، ساختار، عملکرد و روند
<b>تناسبات</b> کالاتراوا گائودی	درخت و بدن انسان درخت	ارگانیزم ارگانیزم	فرم فرم و ساختار
<b>استعاره</b> کالاتراوا گائودی	طبیعی: موج- گیاهی: ساختار- جانوری: دست، چشم، استخوان، بدن انسان طبیعی: موج- گیاهی: تزیینات و ساختار- جانوری: استخوان، بدن انسان	ارگانیزم و رفتار ارگانیزم	فرم و عملکرد فرم و عملکرد

## نتیجه گیری

طبق تعریفی از بایومیمیک، عملکردگرایی از مشخصات بارز این سبک معماری محسوب می‌شود. براساس پژوهش فوق می‌توان چنین برداشت کرد که معماری کالاترا/ ارگانیک ساده، اندام‌وار و عاری از پیچیدگی‌های فرمی گائودی است. الهامات وی از طبیعت در سطوح استعاری، تقلید فرمی و عملکردی و در آثار گائودی، گاه تنها به صورت عینی و تقلید فرمی دیده می‌شود. حرکت و عملکردگرایی در کارهای کالاترا/ به علت دوره‌های متفاوت زمانی و پیشرفت تکنولوژی و تاثیرپذیری از معماران سازه‌گرا، در قیاس با گائودی نمود بیشتری می‌یابد و اثر محیط، تحسیلات آکادمیک، همزمانی با جنبش‌های تک و ساختارگرایی باعث حضور فرمالیسم صنعتی، هندسه و تجرد صنعت در پروژه‌های وی می‌شود. کالاترا/ در معماری تحت تاثیر گائودی بود و از معمارانی الهام می‌گیرد که خود آنها از گائودی تاثیر یافته‌اند. کالاترا/ با لحن روز و بهره‌گیری از سازه و تکنولوژی، در بستر مدرن از فرهنگ و بوم خود فراتر می‌رود، حال آنکه گائودی با رشد در بستر نئوکلاسیسم و با تکیه بر هندسه و تجرد فرهنگی زمان خود معمار سورئالیستی شده که با پشتوانه سبیل‌ها و یادمان‌های تاریخی و فرهنگی اسپانیا و با تاثیر از عواملی مانند محیط، بستر خانوادگی، مذهب، همزمانی با انقلاب صنعتی و تاثیر از معماران فرم‌گرا و سازه‌گرا، نه تنها نبوغ هنری خود را جاودانه ساخته بلکه بر معماران سازه‌گرای پس از خود نیز تاثیر گذاشته است. این دو معمار در الهام از طبیعت به فرم و عملکرد توجه داشتند، ولی نفوذ و شدت عملکردگرایی، در پروژه‌های کالاترا/ بیشتر دیده می‌شود. حاصل بررسی این دو نمونه موردی نشان می‌دهد که گائودی را می‌توان معمار بایومورفیک و کالاترا/ را معمار بایومیمیک به حساب آورد.

**تشکر و قدردانی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

**تاییدیه اخلاقی:** این مقاله نتیجه تلاش مشترک دو نویسنده در درس معماری همساز با اقلیم در شناخت ریشه‌های مفهومی گرایش به طبیعت و زیست‌وارگی در سال ۱۳۹۲ بود که با ذکر منابع مستقیم و غیرمستقیم سعی بر استناد به منابع معتبر به عمل آمد.

**تعارض منافع:** تعارض منافعی میان نویسندگان وجود ندارد.

**سهم نویسندگان:** حسین مدی (نویسنده اول)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۵۰٪)؛ مرضیه ایمانی (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی (۵۰٪)

**منابع مالی:** منابع مالی مطالعه حاضر بین دو نویسنده مشترک بوده و از منبع خارجی تامین نشده است.

## منابع

- principals for innovative design. Boca Raton: CRC Press; 2013.
- 7- Mahmoodi Nejad H. Biobased architecture. Tehran: Tahan Publication (Hele); 2009. p. 117. [Persian]
- 8- Pedersen Zari M. Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. Sustainable Building Conference (SB07), 14-16 November 2007, Auckland, New Zealand. Auckland: SB07 New Zealand; 2007.
- 9- Rapoport A. House form and culture. New Jersey: Prentice-Hall; 1969.
- 10- Falahat, MS, Shahidi S. Nature and its role in architectural design. Honar Ha Ye Ziba, Memari Va Shahrsazi. 2010;2(42):37-46. [Persian]
- 11- Tieck L. Franz Sternbald's Wanderungen. Unknown: Unger; 1798. [German]
- 12- Rocco A. Natural architecture. Mohammad Ebrahim Zadeh Sepasgozar S, translator. Behzad Far M, editor. Tehran: Yazda; 2010.
- 13- Wellek R. A history of modern criticism. Arbab Shirani S, translator. Tehran: Niloofar Publication; 1998. p. 30.
- 14- Servat M. Naturalism. Hum Sci. 2007;(54). [Persian]
- 15- Ruprecht E, editor. Literary manifestos of naturalism 1880 - 1892. Stuttgart: Metzler; 1962. [German]
- 16- Tieck JL. Fantasies about art for friends de art. Stuttgart: University Microfilms; 1983. p. 70.
- 17- Gardner H. Art trough the ages. 2<sup>nd</sup> Edition. Della Crowa H, Tennessee RG, editors. Faramarzi MT, translator. Tehran: Agah Publication; 1991. p. 418. [Persian]
- 18- Vaziri AN. Aesthetic in art and nature. Tehran: Tehran University Publication; 1950. p. 143. [Persian]
- 19- Steadman P. The evolution of designs: Biological analogy in architecture and the applied arts. Abingdon: Routledge; 2008.
- 20- Forty A. Words and buildings: A vocabulary of modern architecture. London: Thames and Hudson; 2000. p. 220.
- 21- Joye Y. A tentative argument for the inclusion of nature-based forms in architecture [Dissertation]. Ghent: Ghent University Faculty of Arts and Philosophy; 2007. [Dutch]
- 22- Stebbing PD. A grammar of visual composition and its biological origin. Commun Cogn. 2003;36(3-4): p. 389.
- 23- Orians GH, Heerwagen JH. Evolved responses to landscapes. In: Barkow JH, Cosmides L, Tooby J, editors. The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture. Oxford: Oxford University Press; 1995. p. 572.
- 24- Khak Zand M, Ahmadi AA. A glimpse to interaction of nature and architecture. Bagh I Nazar. 2007;4(8):35-47. [Persian]
- 25- Van Eck C. Organicism in nineteenth century architecture: An enquiry into its theoretical and philosophical background. Amsterdam: Architectura and Nature Press; 1994. p. 42.
- 26- Ghobadian V. Theories and concepts in contemporary western architecture. Tehran: Daftar Pazhoohesh haye Farhangi; 2003. [Persian]
- 27- Zevi B. Towards an organic architecture. Jazayeri M, Noori Aela E, translators. Tehran: Talare Iran; 1942. pp. 56-7. [Persian]
- 28- Gérardin L. Bionics. Behzad M, Ghavami P, translators. Tehran: Soroush; 1981. p. 11. [Persian]

- 1- Anthony CA. Poetics of architecture: Theory of design. Ay AR, translator. Tehran: Soroush Publication; 2002. [Persian]
- 2- Senosiain Aguilar J. Bio architecture: In search of a space. Sadeghi S, translator. Tehran: Parham Naghsh; 2010. [Persian]
- 3- Bemanian MR, Saleh E. Analyzing the interaction of human and nature from the resuurrection point of view in holy Quran. Interdiscip Quranic Stud. 2011;2(5):61-70. [Persian]
- 4- Pawlyn M. Biomimicry in architecture. London: Riba Publishing; 2011. p. 2.
- 5- Cambridge University Press. Cambridge advanced learner's dictionary. Cambridge: Cambridge University Press; 2005.
- 6- Mazzoleni I. Architecture follows nature, biomimetic



- [http://www.fec.unicamp.br/arqs/20090520015955-T2-ART\\_Calatrava.pdf](http://www.fec.unicamp.br/arqs/20090520015955-T2-ART_Calatrava.pdf). Media 523, Nancy Cheng Inspiration Presentation Paper.
- 47- Gómez Gimeno MJ. The holy family, Flip world editions. UNESCO: Paris; 2006. pp. 86-7. [Spanish]
- 48- Javadian Kh. Calatrava. Bana. 2007;(31):74-9. [Persian]
- 49- Wells M. Skyscrapers: Structure and design. London: Laurence King Publishing; 2005. pp. 120-5.
- 50- Bouman O, Van Toorn R. The invisible in architecture. Hoboken: Wiley; 1994.
- 51- Ansari AF. The mediterranean. Barcelona: Icaria Editorial; 2003. pp. 127-33. [Spanish]
- 52- Giralt Miracle D. The universality of Antoni Gaudí. Catalan Int View. 2012; (11):08-11.
- 53- Huerta S. Structural design in the work of gaudi. Architectural Sci Rev. 2006;49(4):324-39.
- 54- Sweeney JJ, Sert JL. Antoni Gaudí. London: Architectural Press; 1960.
- 55- Van Der Ree P. Organic architecture. Steniaweg: Uitgeverij Christofoor; 2000. p. 83. [Dutch]
- 56- Kolarevic B, Malkawi AM. Performative architecture: Beyond instrumentality. London: Spon Press; 2005. pp. 208-10.
- 57- Collins P, Frampton K. Concrete: The vision of a new architecture. Ontario: McGill-Queen's Press-MQUP; 2004. p. 122.
- 58- Harbison R. Thirteen ways: Theoretical investigations in architecture. Cambridge: MIT Press; 1998. pp. 38-9.
- 59- King S. Mosaic techniques & traditions: Projects & designs from around the world. New York City: Sterling Publishing Company, Inc; 2003.
- 60- Smith KS. Architects' drawings: A selection of sketches by world famous architects through history. London: Architectural Press; 2005.
- 61- Lawson B. How designers think: The design process demystified. London: Architecture Press; 1997.
- 62- Nonell JB. Gaudi or space, light and balance. Madrid: Criterio Libros; 2002. [Spanish]
- 63- Pregill P, Volkman N. Landscapes in history: Design and planning in the eastern and western traditions. 2<sup>nd</sup> Edition. Hoboken: John Wiley & Sons; 1999.
- 64- Ramirez JA, Ramírez Miralles JA. The beehive metaphor: From Gaudí to Le Corbusier. London: Reaktion Books; 2000.
- 65- Hughes R. Barcelona. New York City: Vintage Books; 1993.
- 66- Flores C. The lessons of Gaudí. Barcelona: Empúries; 2002. [Catalan]
- 29- Coss RG. The role of evolved perceptual biases in art and design. In: Volland E, Grammer K. Evolutionary aesthetics. Heidelberg: Springer Science & Business Media; 2003. pp. 69-130.
- 30- Feuerstein G. Biomorph architecture: Human and animal forms in architecture. Fellbach: Edition Axel Menges; 2001. p. 101.
- 31- Davoodi S, Ayatollahi SMH. What is metaphor and how does it affect in the production of the Concepts?. Soffeh. 2008;17(47):17-26. [Persian]
- 32- Noghrehkar AH. Human, nature, architecture. Tehran: Payame Noor University; 2009. [Persian]
- 33- Vahedi A. Nature as a source of inspiration of architectural conceptual design [Dissertation]. Famagusta: Eastern Mediterranean University; 2009.
- 34- Martiwelly BC. Gaudi: His life, his theories, his work. Cambridge: MIT Press; 1975. p. 136.
- 35- Pourjafar MR, Mahmoudinejad H, Ahadian O. Design with nature in bio-architecture whit emphasis on the hidden rules of natural organism. Int J Appl Sci Technol. 2011;1(4):74-83.
- 36- Lawson BR. What Designers Know. Abingdon-on-Thames: Routledge; 2012. pp. 31-2.
- 37- Hamjehnejhad M. Human nature and architecture. Tehran: Iran University of Science and Technology; 2006. [Persian]
- 38- Crippa MA. Antoni Gaudí, 1852-1926: From nature to architecture. Mehrjooya S, translator. Tehran: Yazda; 2010. [Persian]
- 39- Arisa KhKhN. Gaudi, the architect of god. Koosha A, translator. Rome: Embassy of the Islamic Republic of Iran; 2006. [Persian]
- 40- Rykwert J. The dancing column: On order in architecture. Cambridge: MIT Press; 1998.
- 41- Calatrava S, Tischhauser A. Calatrava: Public buildings. Tischhauser A, Von Moos S, editors. Basel: Birkhäuser; 1998.
- 42- Rose S. The gaudí effect [Internet]. London: The Guardian. 2006 [cited 2006 Jan 16]. Available from: <https://www.theguardian.com/artanddesign/2006/jan/16/architecture.spain>.
- 43- Tzonis A, Lefavre L. Movement, structure and the work of Santiago Calatrava. Basel: Birkhäuser; 1995.
- 44- Jodidio P. Santiago Calatrava. Tavassoli M, Gharibi M, translator. Esfahan: Pars Ilia; 2010. [Persian-English]
- 45- Carandell, JM. Park Güell: The utopia of gaudí. Sant Lluís: Triangle Postals; 1999. [Catalan]
- 46- Hallgren L. Santiago Calatrava: Art, engineering, architecture [Internet]: Unknown Publisher; 2007 [cited 2014 Jan 05]. Available from: