

پیامدهای انقلاب صنعتی برای برخی از طراحان و معماران، دلزدگی از ماشینی شدن و سری سازی تولیدات مصرفی با استفاده از مواد صنعتی بود. خط تولید انبوه کاستی‌هایی داشت و به دلیل محدودیت در اجرا، از فرم‌های بسته و محدود خاصی تبعیت می‌کرد. این انزجار باعث تغییر در نحوه طراحی و عملکرد تعدادی از طراحان مطرح در دنیا شد که به سوی فرم‌هایی آزادتر و روان‌تر گرایش داشتند و این جهت‌گیری از گرایش آنان نسبت به طبیعت نشأت می‌گرفت. از جمله این طراحان که هم در زمینه معماری و هم در زمینه طراحی صنعتی به بیومورفیسم و فرم‌های ارگانیک رو آورده است، آوار آلتو^۱ است. وی با ایجاد تفاوت در دیدگاه و روش خود نسبت به طراحی مدرن، از فرم‌های خطوط کناره در طبیعت اکوسیستم‌های دریا، کوهستان و خشکی در آثار خود استفاده کرد و نشان داد که لبه‌های مدور و موج نیز می‌توانند برای مثال در یک گلدان اجرا شوند. او هم‌چنین به طراحی و ساخت مبلمان با استفاده از مواد طبیعی فراوری شده مثل لایه‌های چوب پرداخت و صندلی‌های او با فرم‌هایی نرم و راحت یکی از معروف‌ترین آثار طراحی مبلمان در دنیا به‌شمار می‌روند. (Egging, 2005) آلتو با تخته‌های چندلا و خم کردن آن، توانست صندلی‌هایی طراحی نماید که به جهت راحتی نشستن و قرار دادن پا و جای دسته‌ها، مورد توجه قرار گرفت. (همان) در شکل ۳۴ فرم‌هایی روان و خارج از تعریف متداول گلدان و صندلی آلتو مشاهده می‌شود.



تصویر ۳۴- صندلی و گلدان اثر آوار آلتو

یکی از مهم‌ترین عوامل در تغییر دیدگاه در معماری در نزد معمارانی هم‌چون لوکوربوزیه^۲ نیز پیامدهای حاصل از درک پیرامون و نسبت‌شناسی قابلیت‌های فرم‌های طبیعت در طراحی بود. او که در آغاز قرن بیستم یکی از پیشگامان هنر مدرن بود، در تغییر رویکرد خود قائل به وجود ساختار در هر پیکره طبیعی شد و تلاش نمود تا

^۱ Alvar Alto (1898-1976) Architect

^۲ Le Corbusier (1887-1965)

از این ساختار به مانند ستون فقرات و استخوان‌های موجودات زنده در سازه‌های معمارانه‌اش بهره ببرد. مفهوم زمان و تحول و رشدی که در تک‌تک سلول‌های بدن جانوران و گیاهان در هر لحظه ایجاد می‌شد، سرفصل آغازینی بر تفکرات لوکوربوزیه و معدود طراحان معاصرش بود. او با بررسی و تحلیل فرم و عملکرد عکس‌العمل جان‌داران در هنگام فعالیت‌هایی هم‌چون غذاخوردن و شکار، رشد ریشه گیاهان و جهت‌گیری ساقه‌ها، فرآیند شکل‌گیری فرم و تطابق آن با عملکرد هر موجود زنده را موشکافانه مطالعه نمود. (بیکر، ۱۳۸۶: ۴۱) شاید بتوان گفت ترجمه وی از درک ساختارهای طبیعی در شکل‌گیری دانش بیونیک بی‌تأثیر نبود.

کولانی در مدت فرآیند طراحی، به تحلیل ریخت‌شناسی اسکلت بدن انسان می‌پردازد و طراحی را در ارتباط انسان با محصول شروع می‌کند. او همان‌طور که که اصل پیروی فرم از طبیعت معتقد است، قبل از این که عملکرد مکانیزم را دریافته باشد، فرم ظاهری یک محصول را طراحی نمی‌کند.^۳

۸-۲ ارگانیک دیزاین^۴

دیدگاه ارگانیک و اندام‌وار دیدن طرح‌ها و مجموعه‌ها از دل دیدگاه بیومورفیسیم برمی‌آید. نگاهی که به ارتباط رفتارهای انسان با محیط پیرامونش، شکل طبیعی می‌بخشد. در این دیدگاه، ساخته بشر هم باید تداعی از طبیعت داشته باشد و هم آنقدر هماهنگ با اجزای پس‌زمینه و طبیعت بکر پیش رود که گویی از ابتدا در آن جا بوده است؛ در واقع طراحی همراه با دخل و تصرفی نامحسوس در طبیعت به گونه‌ای که هم‌شکل و متعلق به کلیت اطراف درک شود. هدف طراحی ارگانیک بیشتر معطوف به هماهنگی ایده ساخته شده با فرم‌ها و رنگ‌های طبیعت اطراف است و مانند طراحی بیونیک، به عملکرد سیستماتیک اجزای طبیعی در ساختار طراحی نمی‌پردازد.

^۳ <http://www.mehdifallah.com/articles.html>

^۴ Organic Design

وابستگی جزء به کل، گوناگونی فرم‌های و توجه به بوم‌شناختی برای توجیه هماهنگی بین طرح و پس‌زمینه طرح، از ویژگی‌های این دیدگاه طراحی است. در این دیدگاه فرم و عملکرد همزمان با هم و با یک ارزش و برابری در نزد طراح رشد می‌کنند و شکل می‌گیرند.

دیدگاه ارگانیک در قرن نوزدهم به وسیله لویی سولیوان^۵ مطرح شد و در نیمه اول قرن بیستم در طراحی‌های گوناگونی به کار گرفته شد. اتحاد بین طرح و طبیعت در یک ترکیب کلی، در ایجاد هارمونی مؤثر واقع شده و ترتیب به‌کارگیری اجزای داخلی فضا، با فرم کلی مجموعه هم‌جهت و یک‌شکل است. در طراحی ارگانیک، طراح با طبیعت در آشتی و چرخه سازگار به‌سر می‌برد. شکل‌ها همان‌طور که در ابتدای قرن مطالعه می‌شود، تحت تأثیر عملکرد و تابع آن هستند. در همین جهت فرم‌هایی که در این دیدگاه ایجاد می‌شوند، تابعی از عملکرد آن در مجموعه هستند و این عملکرد، سازگاری عناصر با ساختار تعریف‌شده در یک ارگانیزم طبیعی است. در طراحی اشیا و محصولات، این اتحاد در جهت استفاده از طراحی بیومورفیک و تطبیق آن با شرایط محیطی است. ریشه‌های این دیدگاه را می‌توان در فرهنگ ژاپنی جست‌وجو کرد. لوئیجی کولانی پس از این که به کمپانی‌های برتر طراحی در ژاپن پیوست و فلسفه هماهنگی فرم و سازگاری با طبیعت را درک نمود، سمت‌وسوی طراحی بیومورفیک خود را به سمت طراحی اشیایی سوق داد که با ارگانیزم طبیعت در آشتی و سازش باشند. نتایج این تفکر نشان می‌دهد که در طراحی ارگانیک، فرم جدا از طبیعت نیست؛ گویی طرح اجراشده از ابتدا جزئی از طبیعت بوده و فرم و عملکرد آن منطبق با طبیعت آزاد، شکل گرفته است. (تصویر ۳۷)



تصویر ۳۷- طراحی دوربین برای کمپانی Canon، 1983، طراح: لوئیجی کولانی

^۵ Louis Henry Sullivan (1856-1924), Architect, USA

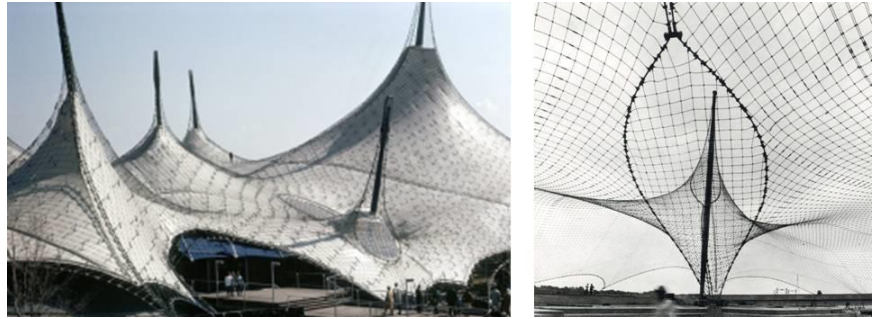
طراحان ژاپنی از جمله تادئو آندو^۶ که تجربه زیادی در دیدن و درک کردن قبل از آموختن دارد و حس های شهودی را در کار طراحی دخالت می دهد؛ از حس شخصی و حسی که از اقلیم می گیرد، در کارهایش استفاده می کند، نیز نگاهی همسو به طراحی ارگانیک در دنیا دارند و این نشان دهنده جهان شمول بودن حس با طبیعت، در طراحی است. (Harris, 2012)

سبکی، مقاومت بالا در برابر کشش و انعطاف پذیری از ویژگی های اصلی تارهای عنکبوت است که در صنعت تولید محصول و پوشاک مورد استفاده قرار گرفته است. از این ساختار در طراحی لباس های سبک ورزشی، وسایل و منسوجات اتاق عمل مثل باند زخم و نخ جراحی، لباس غواصی، لباس ضد گلوله، تولید تورهای ماهیگیری و ... استفاده شده است. در تار عنکبوت، مقاومت پیچشی بالایی وجود دارد و این امکان را فراهم می کند تا مقاومت آن در رشته ها بالاتر رود و از این مزیت در تولید طناب های محکم و بادوام در کوهنوردی نیز استفاده می شود. علاوه بر این سازه تار عنکبوتی در طراحی معماری سقف نمایشگاه مونترال^۷، الهام بخش فرای اتو^۸ ی معمار بود. وی از این سیستم در طراحی سازه های کششی فضاکار به صورت یک مجموعه استفاده کرده است. از امتیازاتی که فرای در الهام از طبیعت تار عنکبوت گرفته و در طراحی فرم های سازه ای به کار برده است، سبکی، مقاومت، آزادی در روش اجرا و ترکیب بندی، قابلیت ایجاد صفحات سه بعدی شبکه ای مدولار است. (تصویر ۱۵۸) این روش امکان تکثیر واحدهای مدولار را به طراح می دهد تا در چینی طبیعت گرایی آن را ارائه دهد.

^۶ Tadao Ando (1941), Architecture, Japan, USA

^۷ Expo Montral (1967)

^۸ Frei Otto (1925-2015), Architecture, Structural engineer, Germany



تصویر ۱۵۸- نمایی از نمایشگاه مونترال کانادا و استفاده از شبکه‌های فضاکار با الهام از مقاومت کششی تار عنکبوت-

طراح: فرای اتو- ۱۹۶۷

مثال بعد در رابطه با کشش سطحی ویژه‌ای است که در سیالات، مخصوصاً آب وجود دارد. کشش سطحی، یک ویژگی محسوب می‌شود که باعث کش‌سانی سطح روی سیالات می‌شود؛ یعنی اگر چیزی بر روی آن قرار گیرد، به صورت ورقه‌ای منسجم و کش‌سان عمل کرده و تا حدی که نیرو اجازه دهد، مانع فرو رفتن شی و شکافتن مایع به وسیله آن می‌شود. (Braga, 2006) از این خاصیت در طراحی محصولاتی که نیاز به حرکت یا توقف بر روی سطح آب دارند، مثل تخته‌های موج‌سواری، قایق‌های مسابقه و تا حدی چوب‌های اسکی استفاده شده است. کشش سطحی باعث می‌شود تا سطح مایع ربایش و چسبندگی بیشتری نیز داشته باشد. به همین دلیل است که قطره‌های آب در مجاورت یکدیگر، به هم جذب می‌شوند و یک قطره بزرگ‌تر را می‌سازند. در این بین، سطح تماس یا سطح روی سیال بسیار در نحوه ماندن بر روی آن و مدت زمان این توقف تأثیر دارد؛ هرچه نسبت نیروی وزن به سطح تماس کمتر باشد، زمان ماندگاری بر روی سطح و قدرت نیروی کش‌سانی بیشتر خواهد بود. اگر نیروی عمودی وارد بر صفحه‌ای را تقسیم بر مساحت این صفحه کنیم، فشار متوسط به دست می‌آید. فشار، نیروی عمودی وارد بر سطح است. هرچه قدر سطحی که به آن نیرو وارد می‌کنیم بزرگ‌تر باشد، باید فشار بیشتری وارد کنیم تا فشار واردآمده یکسان باقی بماند.

$$P = F_1 / A$$

بنابراین در فشار بر روی مایعات، فشار در یک نقطه از حد نسبت نیروی عمودی وارد بر سطح به دست می‌آید؛ اگر مساحت آن سطح به سمت صفر میل کند. در نتیجه در هر نقطه از یک سیال ساکن، فشار در تمام جهتها یکسان است؛ البته این فرض در حالتی صورت می‌گیرد که مقاومت دیگری در سیال موجود نباشد. در محاسبات دقیق‌تر این مقاومت نیز بایستی در نظر گرفته شود. (Braga, 2006)

پس دریافتیم که وضعیت و نوع فشاری که بر آب وارد می‌شود، می‌تواند در میزان این نیرو تأثیرگذار باشد. در طبیعت موجوداتی از جمله حشرات کوچک یافت می‌شوند که با توجه به فرم و اندازه دست و پاهایشان می‌توانند بر روی آب قرار گیرند بدون آن که داخل آن فرو روند.



تصویر ۱۵۹- همسان‌سازی عملکرد استفاده از کشش سطحی آب در حشرات و

روبات-۲۰۱۵

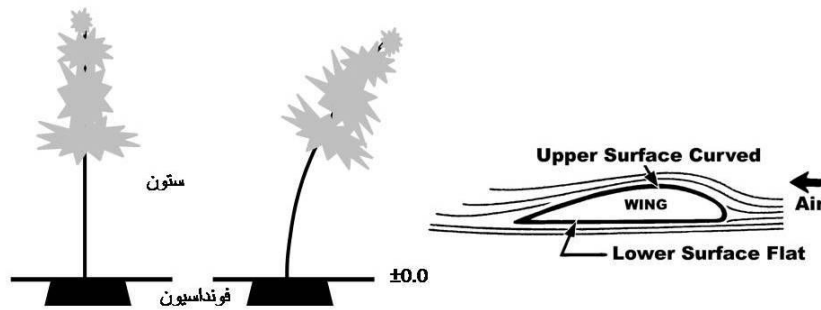
همان‌طور که در تصویر ۱۵۹ مشاهده می‌شود، موجودات کوچک‌تر در طبیعت خود را با خاصیت کشش سطحی مایعات تطبیق داده‌اند و این قابلیت را دارند تا بتوانند از شرایط خاص دست و پای خود جهت حفظ تعادل و توقف بر روی سطح آب استفاده نمایند. به فرم پاهای عقب استرایدر آبی توجه کنید. شکل پاها به نحوی زاویه دارد که بر روی آب به صورت یک سطح تاشو همانند چوب‌های اسکی یا تخته موج سواری قرار گرفته است. این میزان سطح کشیده قطعاً بهتر از سطح نقطه‌ای یا حجمی با سطح مقطع کوچک و تیز عمل می‌کند و نیروی فشاری را بر سطح گسترده‌تری پخش می‌کند. این حشره قادر است بر روی آب قرار گرفته، راه برود و حرکت جهشی داشته باشد؛ بدون این که در آب فرو رود. بازوهای جلویی و عقبی، طوری بر سطح آب گسترده می‌شوند که سطحی وسیع‌تر از بدن موجود بر روی آب تشکیل می‌دهند. محققان به این نتیجه رسیده‌اند که در صورتی که بتوان سیستمی طراحی نمود که هم از وزن کمی برخوردار باشد و هم نحوه توزیع و انتقال نیرو بر سطح آب در آن، از این الگو که برای حشرات استفاده می‌شود، پیروی کند، می‌توان امیدوار بود که از این ساختار در طراحی مصنوعات که بر روی آب قرار می‌گیرند و یا سیستم‌های پیچیده‌تر در طراحی صنعتی استفاده کرد. (Stevens, 2011) در اقدامات اولیه طراحان توانستند روباتی طراحی نمایند که بتواند با همین الگو بر روی آب راه برود. اولین نمونه این روبات‌ها در سال ۲۰۱۲ ساخته شد. در طراحی‌های جدیدتر، روبات می‌تواند حرکات تقلیدی از حشره استرایدر آبی را در جهش و پرش به بالا و روبه‌جلو بر روی سطح مایع از خود نشان دهد. برای کم کردن فشار روبات به سطح آب از مواد دافع آب مثل نیکل استفاده شده است تا پوسته بدنه نیز رفتاری همانند سطح رویه

بدن استرایدر آبی یا آب‌سوار داشته باشد. اگرچه این روبات هنوز نتوانسته است ویژگی‌های منحصر به فرد حشرات را به‌طور کامل در خود داشته باشد و نسبت وزن بدن به میزان پرش، هنوز فاصله زیادی با نسبت بدن حشرات دارد، در نوع خود موفقیتی روبه‌جلو محسوب می‌شود.

• **رفتار سازه‌های بلند در طبیعت:** در طبیعت پدیده‌های زیادی با انواع فرم‌های مختلف وجود دارد. این پدیده‌ها در قیاسی با یکدیگر به‌شدت متنوع و دارای تناسبات متفاوتی هستند. از یک ساقه‌جوانه کوچک که سر از خاک برآورده تا بلندترین کوه‌ها، دارای ارتفاع و بلندی است. بلندی در پدیده‌های طبیعی با نسبت بین ارتفاع به سطح مقطع تعریف می‌شود. بر این اساس، موجوداتی که نسبت ارتفاع به سطح مقطع آن‌ها به نسبت دیگر موجودات بیشتر باشد، بلندتر شناخته می‌شوند؛ بنابراین درختان در بین پدیده‌های طبیعی جزو موجودات بلند محسوب می‌شوند. موجودات بلند در ساختار فرمی‌شان دارای ویژگی‌های ویژه‌ای هستند که براساس این نسبت قابل شناسایی و درک است. از جمله ویژگی‌های آن‌ها، تحمل نیروهایی است که از جهات مختلف و در جهت‌های متفاوت به آن‌ها وارد می‌آید. موجودات در طبیعت سعی می‌کنند نسبت به اعمال نیرو از خود سازگاری نشان دهند و این خود منجر به رفتار هماهنگ در ارتباط با تحمل بارهای وارد به‌صورت فشار، خمش و یا کشش است. درختان برای سازگاری با نیروهای طبیعت، از امکانات فرم خود به‌صورت عملکردی در پاسخ به محرک‌ها استفاده می‌کنند.

امکانات فرمی در درختان در اندام‌های آنان قرار گرفته است. در طرح ارگانسیم طبیعی فرم درخت می‌توان، برگ، تنه، شاخه و ریشه را به‌صورت متفاوت با عملکردی مشخص تشخیص داد. شکل هرکدام از این اندام‌ها و نحوه گسترش، قطر و گونه زیست‌شناختی آن‌ها، اشکال متفاوتی ایجاد می‌کند که رفتارهای مختلفی تحت این شرایط خواهند داشت؛ حتی شرایط اقلیمی و یا جوی در نوع پاسخ به نیروها مؤثر است. همه درختان برای استقرار در زمین دارای یک جهت عمود بر زمین هستند. این جهت در تنه درختان تعریف می‌شود که بخش قابل دید و مهمی از درخت را شامل می‌شود. تنه‌ها در واقع ساقه اصلی هستند که در طول زمان رشد عرضی و طولی داشته و ضخامت یافته است. در این ساقه محوری، آوندها قرار دارند که در ستون‌های عمودی به انتقال آب و مواد غذایی از ریشه تا برگ می‌پردازند. تنه درخت یک محور اصلی برای فرم محسوب می‌شود که شاخه‌ها و برگ‌ها به‌صورت انشعاباتی به آن وصل هستند و یک مجموعه ایستا را تشکیل می‌دهند. از این نظر تنه درخت رفتاری همانند ستون برای کلیت گشتالت درخت دارد. تنه برای یک استقرار محکم و قابل اطمینان، نیاز به یک فونداسیون یا پی دارد. پایه درخت باید اتصال محکمی برقرار سازد که بتواند فشار وزن و نیروهای فشاری، خمشی و کششی را در جهات مختلف تحمل نماید؛ از این رو شبیه پی ساختمان عمل می‌کند؛ با این تفاوت مهم که فونداسیون در ساختمان، شرایط ثابتی دارد و از ابتدا تقویت می‌شود؛ اما فونداسیون درخت یک ارگانسیم زنده

است که همراه با رشد درخت و اضافه شدن بارهای وارد بر تنه، به تناسب، تقویت شده و آرام آرام گسترش یافته و وسعت و عمق پیدا می‌کند. نقش این فونداسیون را در درخت، ریشه ایفا می‌کند. ریشه‌ها در وضعیت باربر قرار دارند و لحظه به لحظه بیشتر رشد می‌کنند. (Niklas, 1992) (تصویر ۱۶۰)



تصویر ۱۶۰- تحلیل خطی مقایسه رفتار سازه‌ها در برابر نیروی باد در درختان و بال هواپیما در آیرودینامیک

سازه درخت در برابر نیروهای جانبی باد و توفان، از تبدیل تنش‌های خمشی به کششی و فشاری استفاده کرده و باعث سرشکن شدن و تعدیل نیروها می‌شوند. هرچه باد و عوامل تنش‌زا شدیدتر باشند، ریشه درخت قوی‌تر عمل کرده و در جهت مخالف گسترش پیدا می‌کند. ساختار محور مرکزی درخت، در مقابل عوامل تنش‌زا با خم کردن جهت عمودی، اجازه عبور هوا را از روی خود می‌دهند و از این رو مکانیزمی شبیه به سازه‌های آیرودینامیکی از خود نشان می‌دهند. همان‌طور که در تصویر ۱۶۰ می‌بینید، در ساختار بال هواپیما، فرم قطره‌ای بال باعث عبور راحت‌تر به جهت کم شدن اصطکاک در جریان باد می‌شود. درختان با وجود این که فرم ساختاری آن‌ها آیرودینامیکی نیست و انحنا در مسیر وجود ندارد، در مواقع نیاز از خاصیت خم شدن استفاده کرده و فرمی متناسب عبور هوا می‌سازند. غیر از خم شدن، ساختار چتر درختان نیز در این مسأله کمک‌کننده است؛ مثلاً درختان در برابر بادهای شدید از ساختار توده‌ای برگ‌ها در چتر درخت استفاده کرده و باعث می‌شوند تا نیروی باد درحین عبور از میان شاخه‌ها و برگ‌های درخت، شکسته شده و انرژی مخرب آن کاهش یابد. (Niklas, 1992)