

Analysis of a Building in Susa based on Animal Biology with Emphasis on Optimization Method with Multi-Purpose Genetic Algorithm*

Sadigheh Salati¹ iD, Behzad Vasigh^{**2} iD, Abdolrahman Dinarvand³ iD

¹ Master Student of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

² Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

(Received: 1 Feb 2023; Received in revised form: 11 Mar 2023; Accepted: 30 Apr 2023)

Bioinspired design is a term that is generally accepted as an umbrella category for design and engineering approaches. While biomimicry is a type of bioinspired design, not all bio inspired design qualify as biomimicry. An important factor that differentiates biomimicry from other bio-inspired design approaches is the emphasis on learning from and emulating the regenerative solutions living systems have for specific functional challenges. Innovators turn to biomimicry with the hope of achieving a unique product that is efficient and effective, but they often gain a deep appreciation of and connection to the natural world. Biomimicry encourages conservation for ecosystems and its inhabitants, because they hold the knowledge we need to survive and thrive. Nature has been the most important source of inspiration for architects in building construction or architectural ideas. Biomimetic is a human-made process that mimics nature not limited by its aesthetic configurations, but is based on nature, measure and mentor, and therefore its construction process, or its geometry and spatiality, must be dynamic, optimized and perhaps adaptable to local conditions resulting in an innovative and efficient architecture. In this research, by examining the nature-compatible characteristics of the agama lizard indigenous to the Susa region, an attempt is made to study the adaptive method of building architecture with the hot and humid climatic conditions of Susa region by designing a building. Geographically, Susa is located near the three rivers of Dez, karkheh and Shawoor. It was surrounded by rich lands where agriculture, hunting and animal breeding were vastly practiced. The research method in this article is based on field methods and

software simulation. The information is collected in the form of library studies, environmental data and field observations. Some of the challenges are that it requires a large number of runs to adequately explore a design space, it often relies on statistical methods that are not easily accessible to architectural practitioners, and the reporting mechanisms do not suit architectural design exploration, among others. The analysis tool in this research is Energy Plus software based on HANT algorithm and optimization method with multi-objective genetic algorithm using jEPlus interface software and jEPlus+EA optimizer software. jEPlus+EA can only use parameters defined in a valid jEPlus project as variables. This means all variables are considered as discrete during optimization. Hence, the authors have studied the three agamas of *Phrynocephalus Arabicus*, *Trapelus roderatus* and *Saralorikata*. Based on the morphological-climatic analogy between the animal and the building, they have pointed out how the shell of the building is organized based on the characteristics of the animal's skin. Variables such as the morphological characteristics of the shell, thickness, direction and arrangement of the outer wall layers of the building have been considered. Drawing on insights from Agama skin organization, moisture control mechanisms, solar radiation absorption, and shell orientation, the study proposes a climate-compatible architectural framework informed by nature's adaptive strategies.

Keywords

Biomimetic Method, Nature-Aligned Architecture, EnergyPlus, *Trapelus Ruderatus*, Susa.

Citation: Salati, Sadigheh; Vasigh, Behzad; Dinarvand, Abdolrahman (2023). Analysis of a building in Susa based on animal biology with emphasis on optimization method with multi-purpose genetic algorithm, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 28(2), 77-88. (in Persian) DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.354539.672840>



*This article is extracted from the first author's master thesis, entitled: "Designing the water tourism complex of Shush with a biomimetic approach", under the supervision of the second author and the advisory of the third author in the faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi Shapur university of Technology.

**Corresponding Author: Tel:(+98-918) 8420063, E-mail: vasiq@jsu.ac.ir

تحلیل حرارتی ساختمان در شوش مبتنی بر زیست جانوری بر مبنای روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه*

صدیقه سلاطی^۱، بهزاد وثیق^{۲*}، عبدالرحمن دیناروند^۳

^۱ کارشناس ارشد معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.
^۲ دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.
^۳ استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰)

چکیده

یکی از منابع الهام فن‌آوری‌های ساخت، درک راهکارهای همسازی با شرایط اقلیمی است که موجود زنده در آن رشد یافته باشد. در این تحقیق با بررسی ویژگی‌های همساز با طبیعت آگاما تلاش می‌شود تا با طرح یک بنای ساختمانی مفروض، تطبیق‌پذیری معماری ساختمان با شرایط اقلیمی منطقه شوش بررسی شود. روش تحقیق در این مقاله مبتنی بر روش‌های میدانی و شبیه‌سازی نرم‌افزاری می‌باشد. نحوه گردآوری اطلاعات به صورت داده‌های محیطی و مشاهدات میدانی است. ابزار تحلیل در این پژوهش نرم‌افزار *انرژی پلاس* بر مبنای الگوریتم *TMAH* و روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه و با بهره‌گیری از نرم‌افزار واسط *sulPEj* و نرم‌افزار بهینه‌ساز *AE+sulPEj*، می‌باشد. نگارندگان به بررسی سه آگامای «فرینوسفالوس عربیکوس»، «راپلوس رودراتوس» و «سارالوریکاتا» پرداخته و به نحوه سازماندهی پوسته ساختمان بر اساس کارکرد پوست جانور در برابر اقلیم اشاره نموده‌اند. در این تحقیق به ویژگی‌های مورفولوژیک پوسته و لایه‌های جداره خارجی ساختمان توجه شده است. نحوه انتخاب گزینه مؤثر بر اساس بهینه‌یابی چندهدفه یافتن نمودار پرتو می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد بر اساس تحلیل پوست آگاما، نحوه کنترل رطوبت، درصد نفوذ پوسته خارجی ساختمان و جذب تابش و حرارت خورشید و نیز جهت‌گیری ساختار بیرونی پوست در برابر تابش می‌توان بنایی همساز با اقلیم در شوش بر مبنای ویژگی‌های زیست آگاما شکل داد.

واژه‌های کلیدی

رویکرد بیوممیتیک، معماری همساز با طبیعت، انرژی پلاس، آگامای شوش، شوش.

استناد: سلاطی، صدیقه؛ وثیق، بهزاد و دیناروند، عبدالرحمن (۱۴۰۲)، تحلیل حرارتی ساختمان مبتنی بر زیست جانوری بر مبنای روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه، نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۲۸(۲)، ۷۷-۸۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.354539.672840>

* مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «طراحی مجموعه گردشگری آبی شهرستان شوش با رویکرد بیومیمتیک» می‌باشد که با راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارنده سوم در دانشکده معماری دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول ارائه شده است.
نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۸۸۴۲۰۰۶۳، E-mail: vasiq@jsu.ac.ir



مقدمه

راه حل مهندسی تشخیص داده نمی‌شود و گاهی راه حل‌هایی وجود دارند که به لحاظ مصرف انرژی و منابع بسیار نامرغوب و نامناسبند. بنابراین تنها راه، راهکارهایی است که طی سالیان توسط موجودات به کار گرفته شده و بهینه شده‌اند. در این خصوص ابتدا طراحان به بیان دقیق مسئله و نیاز اصلی طراحی می‌پردازند و سپس با استمداد از زیست‌شناسان به جست‌وجو و یافتن سیستم مورد نظر در طبیعت همت گماشته و بعد از دستیابی به هدف به تجزیه و تحلیل سیستم طبیعی مذکور می‌پردازند. در این پروسه، طراحان و مهندسان نقش ویژه‌ای ایفا خواهند کرد؛ چرا که یک تعریف درست و دقیق از مسئله و آن چه به دنبال آن هستند، علاوه بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه باعث جلوگیری از ایجاد آشفتگی و سردرگمی در طول پروسه بیومیمتیک خواهد شد. در روش مبتنی بر راهکار وجود قابلیت ویژه در یک پدیده طبیعی نقشی عمده در روش ایفا می‌کند. این قابلیت ممکن است به صورت اتفاقی مشاهده شده و باعث جرقه‌ای در ذهن شود به طوری که با آگاهی از یک مشکل خاص، احتمال بکارگیری فرایند رخ داده در پدیده مذکور برای حل آن مشکل خاص، موفقیت‌آمیز به نظر برسد. در این صورت برای اثبات احتمال داده شده باید به مطالعات زیست‌شناسانه مربوط به پدیده مورد نظر پرداخت و طی مراحل نتایج به دست آمده را در حل مشکل تجزیه و تحلیل و ارزیابی نمود. در بسیاری موارد نیز به مطالعاتی که توسط زیست‌شناسان انجام می‌شود، ویژگی‌ها و قابلیت‌های موجودات طبیعی بررسی شده تا به امکان کاربرد هر کدام از این ویژگی‌ها در مسائل مهندسی رشته‌های مختلف پی برده شود. فرایند طراحی بیومیمتیک در این روش با توجه آغازین به زیست‌شناسی شروع می‌شود (Cohen & Reich, 2016, 26). در مقاله حاضر، تلاش می‌شود تا به پیشنهاد راه‌حلی زیست‌مبنا در کنترل میزان حرارت تابشی مورد مطالعه دست یافته و زمینه‌ای برای حل مسأله دریافت حرارت تابشی از خورشید توسط پوسته خارجی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه‌مرطوب شوش، فراهم و راه‌کارهایی ارائه شود که در طبیعت این منطقه توسط موجودات زنده در برابر این مشکل به کار برده می‌شود. بنابراین با بررسی ساختاری-رفتاری موجودات بومی منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های مورد نیاز که منجر به عملکرد مناسب در شرایط اقلیمی منطقه و حفظ بقا شده‌اند، استخراج و شناسایی شوند. این ویژگی‌های طی مراحل طراحی بیومیمتیک به راه‌کارهای مورد استفاده در طراحی معماری تبدیل و ترجمه خواهند شد.

بشر همواره با کاوش و تقلید از طبیعت و موجودات تلاش نموده تا راه‌حلی برای نیازهای زیستی خود بیابد. دامنه این بهره‌برداری از طبیعت طیف وسیعی از راهکارها از جمله ایجاد سرپناه را دربر گرفته است. به گونه‌ای که می‌توان ریشه فرم‌های معماری را به طبیعت نسبت داد. امروزه فناوری این امکان را فراهم ساخته تا با نفوذ به مقیاس‌های نانو، سامانه و قابلیت‌های زیستی کشف و به صورت کاربست‌هایی در مسائل مهندسی ظهور یابد. در این دیدگاه زیست‌شناسی به معنای مطالعه ساختار زیستی است و علمی است که به عنوان زمینه و ایده ساختمانی مطرح است (Mazzoleni, 2013, 26). رابطه متقابل زیست‌شناسی و فناوری به تولید علوم مختلفی منتهی شده است. مکانیسم‌های زیست‌مبنا به رویکردهای مستقیم، ایده‌یابی و شکلی، مورد تقلید واقع می‌شوند. این موضوع باعث ایجاد رویکردهای متنوعی مانند بیونیک، بیومیمتیک و بیومیمکری به عنوان زیرمجموعه‌های تقلید از طبیعت شده است (Cohen & Reich, 2016, 26). حوزه‌های بیونیک و بیومیمتیک بر نوآوری‌های فناورانه همراه با پیچیدگی‌های فنی تمرکز دارند در صورتی که بیومیمکری به دنبال کم‌ترین پیچیدگی فنی، تمرکز بر رسیدن به پایداری دارد (Iouguina et al., 2014 و 197-205). فرایند طراحی بیومیمتیک به دو نحو صورت می‌گیرد. در مورد اول مشاهدات در طبیعت، اساس کار طراحی و حل یک مسئله مهندسی قرار می‌گیرد، به این صورت که با مشاهده یک ویژگی از یک موجود زنده می‌توان به دنبال مسئله‌ای در زندگی بشر بود که آن ویژگی قادر به حل آن باشد (از زیست‌شناسی به کاربرد) و مورد دیگر طراحی براساس یک نیاز مهندسی است که حل آن با استفاده از فناوری‌های موجود ممکن نیست و یا با صرف هزینه‌های گزاف و مصرف انرژی و منابع (طبیعی و مالی) بسیار قابل حل است به طوری که یک نیاز فنی منجر به شروع فرایند طراحی و جست‌وجوی راهکارهای مورد استفاده در طبیعت می‌شود (از یک مسئله به زیست‌شناسی). متخصصان این رشته برای نامگذاری از اصطلاحات مختلفی استفاده کرده‌اند (جدول ۱) که علی‌رغم تفاوت ظاهری این اصطلاحات، محتوای شرح داده شده برای آنها هدفی مشابه دنبال می‌کند. در اینجا برای شرح دو نوع فرایند طراحی بیومیمتیک جهت سهولت بیشتر در بیان، از عبارات «مبتنی بر مسئله» و «مبتنی بر راهکار» استفاده می‌شود. در روش مبتنی بر مسئله ایجاد و تعریف یک نیاز و مسئله در رشته مهندسی باعث شروع فرایند طراحی می‌شود. گاهی برای مسئله مذکور،

جدول ۱- واژه‌شناسی روش‌های طراحی بیومیمتیک.

ردیف	از زیست‌شناسی به کاربرد	از یک مسئله به زیست‌شناسی	منبع	ردیف	از زیست‌شناسی به کاربرد	از یک مسئله به زیست‌شناسی
۱	مبتنی بر راهکار	مبتنی بر مسئله	Goel et al 2009	۵	بیومیمتیک بوسیله استقراء	بیومیمتیک بوسیله مقایسه Gebeshuber & Drack, 2008
۲	زیست‌شناسی مؤثر بر طراحی	طراحی با نگاه به زیست‌شناسی	Benyus, 2002	۶	مشق شده از راه حل	مشق شده از مسئله Helms et all, 2009
۳	مشق شده از ارگانسیم	مشق شده از مکانیسم	Hesselberg, 2007	۷	از زیست‌شناسی به طراحی	از چالش به زیست‌شناسی Baumeister 2012
۴	پایین به بالا	بالا به پایین	Speck and Speck, 2008	۸	فشار زیست‌شناسی	کشش فناوری فرشی حقی و دیگران، ۱۴۰۰

روش پژوهش

همزمان از هر چهار نوع زانده پوستی شامل فلس، سپرچه، خار و ستیخ برخوردارند. به همین دلیل احتمال برآورده ساختن هدف پژوهش در این گروه بالاتر است (جزایری، ۱۳۹۸). از میان هشت خانواده متفاوت زیراسته آگامیدها، خانواده آگاما^۲ سازگاری زیستی بیشتری در شوش یافته است. با مطالعه آگامای شوش سعی شد تا پارامترهای مؤثر در طراحی با شناسایی قابلیت‌های آن در برابر حرارت تابش خورشید، استخراج و در تحلیل نرم‌افزاری به کار رود. جهت مطالعه، سه نوع آگامای بومی غرب رود کرخه، شامل آگامای ایرانی، سرورزی عربی و خاردم بین‌النهرین، مورد بررسی قرار گرفتند (تصویر ۱).

پیشینه پژوهش

در رابطه با ارتباط بین حوزه بیومیمتیک و ساختمان تحقیقات متعددی صورت گرفته است. العبیدی و همکاران در مقاله خود سعی نموده‌اند؛ تا طراحی بیومیمتیک پوسته ساختمان با درک مکانیسم‌ها، عملکردها و مواد آنها از طریق یک رویکرد تطبیقی تبیین نمایند (Al-Obaidi et al., 2017, 1472-1491). از نظر دراک و همکاران با تکیه بر رویکرد تکنومورفیک^۳ زیربناهای مفهومی و تئوریک از انتقال دانش بیومیمتیک در میان زیست‌شناسان، مهندسان و معماران کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. این طرح نه تنها توسعه یک زبان مشترک در علم بیومیمتیک را تسهیل می‌کند بلکه گفتگوی بین‌رشته‌ای میان رشته‌های زیرمجموعه را نیز ارتقاء می‌دهد (Drack et al., 2017). بادارنا طی پژوهشی پیشنهاد استخراج استراتژی‌های ریخت‌شناسی از طبیعت را برای کاربرد در طراحی پوسته ساختمان ارائه نموده است. از نظر بادارنا پوست نقش مهمی برای سازگاری دارد و مورفولوژی می‌تواند به عنوان یکی از عناصر اصلی طراحی جهت توسعه راه‌حل‌های چندمنظوره در نظر گرفته شود (Badarnah, 2018) (جدول ۲). میرحسینی و دیگران (۱۳۹۹) در تحقیقی به بررسی

در پژوهش حاضر تلاش می‌شود تا ابعاد مورفولوژیک ساختمانی در منطقه شوش بر مبنای رویکرد بیومیمتیک تعیین شود. با توجه به رفع مسأله حرارت جذب‌شده از تابش آفتاب توسط جداره‌های ساختمان از روش مبتنی بر مسأله استفاده شده است. پس از تعریف مسأله به جست‌وجوی موجودات زنده‌ای در اقلیم شوش پرداخته شده است که از مقاومت بالایی برای زیستن در اقلیم بسیار گرم منطقه برخوردار هستند. پس از یافتن منبع قیاس، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و رفتاری موجودات یافت شده استخراج و به ویژگی‌های معادل در حوزه ساختمان تبدیل شده‌اند. با مشخص شدن پارامترهای طراحی، در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس نسخه ۹/۲؛ و روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه و با بهره‌گیری از نرم‌افزار واسط *jEPlus* و نرم‌افزار بهینه‌ساز *jEPlus+EA*^۱، بار سرمایه‌ی سالانه در ساختمان مورد آزمون محاسبه شده است. جهت محاسبه بار سرمایه‌ی و مدل‌سازی همزمان حرارت و رطوبت در جداره‌های خارجی بنا نیز از الگوریتم بالانس حرارتی استفاده شده است. روش بهینه‌سازی انتخابی از زیرمجموعه‌های روش‌های فراابتکاری محسوب می‌شود. با بهره‌گیری از روش‌های ذکرشده، بار سرمایه‌ی سالانه پیش از کاربرد پوسته بیومیمتیک و پس از آن با منظورکردن پوسته متصل به ساختمان (دیوارها و بام) و نیز پوسته با فاصله‌ای که توسط لایه‌ای از هوا ایجاد شده است؛ محاسبه شده است. در مرحله آخر به صورت جداگانه با در نظر گرفتن پوسته‌ای که در بخش داخلی مرطوب در نظر گرفته شده؛ به محاسبه بار سرمایه‌ی پرداخته شده است. در نهایت با مقایسه بار سرمایه‌ی پیش از وجود پوسته، رویکرد انتخابی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق، تمرکز پژوهش بر مطالعه خزندگان است. از میان گونه‌های مختلف خزنده، آگامیدها با گذشت زمان از لحاظ پوستی، تکامل بیشتری یافته و



تصویر ۱- آگامای ایرانی: تراپلوس رودراتوس (راست)، آگامای سرورزی عربی: فرینوسفالوس عربیکوس (وسط)، آگامای خاردم بین‌النهرین: سارالوریکاتا (چپ). مأخذ: (ŠMÍD et al, 2014: 1-97)

جدول ۲- ویژگی‌های آگامای سارالوریکاتا.

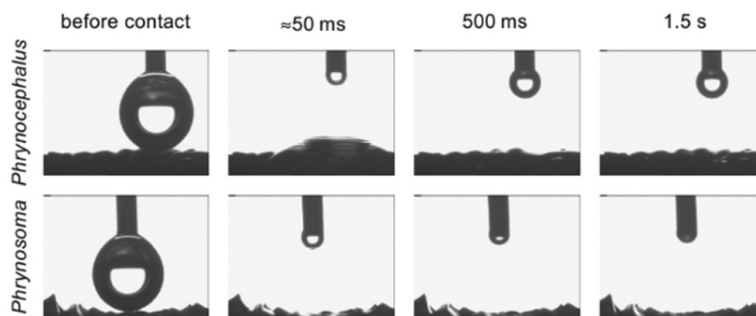
ویژگی	شرح	کارایی
ویژگی‌های عمومی آگامید	وجود پوسته‌ای ضخیم از سلول‌های مرده روی کل بدن	ایجاد سپر حفاظتی در برابر عوامل خارجی سایش، حرارت
	چندلایه بودن پوست	افزایش ظرفیت حرارتی و کاهش انتقال حرارت از طریق پوست
	وجود لایه‌ای از هوا در زیر فلس‌ها	کاهش انتقال حرارت از پوست (مقاومت لایه هوای زیر پوست)
ویژگی‌های اختصاصی آگاما	تغییر زاویه نسبت به پرتوهای تابشی و کنترل حرارت کسب شده	افزایش سطح در معرض تابش در زمان نیاز به انرژی و برعکس
	تغییر رنگ با توجه به نیاز به انرژی تابشی	تیره شدن پوست برای جذب بیشتر حرارت تابشی و برعکس
	برداشت آب بوسیله حفره‌های زیر فلس‌ها	ایجاد برودت تبخیری و تاب‌آوری در اقلیم شوش در طول روز
	وجود گیرنده‌های حسی روی فلس‌ها	تشخیص عوامل مختلف پیرامون (حرارت، رطوبت و ...)
	ریزساختارهای کندوماند روی سطح فلس‌ها	رساندن رطوبت دریافت شده از سطح پوست به زیر فلس‌ها

139) و تراپلوس (Vesely & Modry, 2002, 311-314) دارای چنین توانایی در جمع‌آوری آب از طریق سطح پوست خود به صورت برداشت آب باران می‌باشند (Sherbrooke 1990, 302-308 & 1993, 270-275). این پدیده در تصویر (۲) با مقایسه آگامید فرینوسفالوس عربیکوس و سارالوریکاتا نشان داده شده است. این تصویر نشان می‌دهد؛ قطره آب بسیار سریع در سطح پوست فرینوسفالوس عربیکوس منتشر شده به طوری که در ۲ ثانیه کاملاً روی سطح پخش می‌شود در حالی‌که به سختی و با صرف زمان بیشتر روی سطح سارالوریکاتا در حال پخش شدن است. با توجه به لایه‌ای از سلول‌های کراتینی که بدن آگامید را در برمی‌گیرد، یک پوسته برای ساختمان مورد بحث در نظر گرفته شده و در ادامه مقدمات تحلیل پوسته در جهت برآوردن هدف پژوهش فراهم می‌شود. پوست آگامیدها همواره دارای یک ضخامت بهینه برای کمک به تعدیل دمای درونی بدن است. بنابراین برای پوسته ساختمان نیز باید ضخامت بهینه را به دست آورد که بهترین کارایی ممکن را در جلوگیری از انتقال حرارت فراهم سازد. از دیگر ویژگی‌های یافت شده می‌توان به وجود اندام‌های حسی بر روی نقاط انتهایی برخی از فلس‌ها اشاره نمود. این اندام‌های حسی نقاط تماس با محیط بیرون را تشکیل می‌دهند. از طرفی پوست آگامید از حداقل ۵ لایه مختلف تشکیل شده است که با توجه به سن ضخامت هر لایه متفاوت بوده ولی به کاهش انتقال حرارت از طریق پوست کمک می‌کند. پیکره آگاما و کارایی هر اندام و وضعیت آن با ساختارهای معماری معادل شده است. از این رو با توجه به مهمترین ساختارهای پوست بدن آگاما شامل وجود پوسته‌ای ضخیم از سلول‌های مرده، چندلایگی پوست، وجود لایه‌ای از هوا زیر فلس‌ها، وجود رطوبت در حفره فلس‌ها، ریزساختارهای کندوماند سطح فلس، می‌توان به ترتیب پوسته ضخیم خارجی ساختمان؛ چندلایه کردن و ایجاد فضاهای خالی از مصالح مابین لایه‌ها و ایجاد فضای شفاف در برابر تابش را معادل نمود. فضاهای کندو مانند روی سطح پوست آگاما معادل فضای شفاف

معیارهای حیات براساس بیونیک جهت استفاده در برنامه‌ریزی و طراحی سکونتگاه‌های انسانی پرداختند. معیارهای حیات شامل معیارهایی مانند مجموعیت، تکامل، سازگاری، بهینه‌سازی، نظم، و نفوذپذیری و مرکز نیرومند است. قارونی و دیگران (۱۳۹۲) به مطالعه سازه و فرم صدف آبالون فرم بهینه پوسته‌ای برای پوشش دهانه‌های بزرگ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد؛ فرم منحنی اسپیرال طلایی صدف آبالون براساس پلان مستطیلی محاسبه و شکل‌های مختلفی خواهد داد. قیابکلو (۱۳۹۲) به بررسی اصول طراحی آکوستیکی سالن همایش چندمنظوره با الهام از پوسته صدف دریایی پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد؛ سالن صدفی شکل به لحاظ شاخص‌های قابلیت فهم گفتار نسبت به دو شکل دیگر برتری داشته و همچنین از نظر مولفه‌های مربوط به وضوح درک جزئیات موسیقیایی نیز همانند سایر اشکال در محدوده قابل قبول قرار دارد. براساس پیشینه می‌توان دریافت که تا کنون تحقیقی در رابطه بین آگاما و یک بنای مسکونی در اقلیم مورد مطالعه و یا با رویکرد تحقیق صورت نگرفته است.

مبانی نظری پژوهش بحث

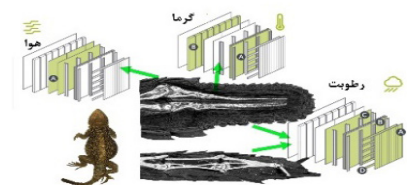
دمای عادی مورد نیاز برای آگامیدها در کوهپایه‌های خوزستان بین ۳۸-۴۳ درجه سانتیگراد متغیر است. با رسیدن دما به میزانی بالاتر از این محدوده رنگ روشنی پیدا می‌کنند (مجنوبیان و دیگران، ۱۳۸۴). آگامیدها نسبت به تابش آفتاب، موقعیت خود را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که هنگام آفتاب‌گیری سطح بیشتری از بدن آنها در معرض تابش آفتاب قرار گیرد و برعکس در دوره افزایش گرما حداقل بدن در معرض تابش باشد. محیط‌های خشک همواره با کمبود شدید بارش روبرو هستند و گونه‌های جانوری این مناطق با دو چالش عمده، جمع‌آوری آب از منابع در دسترس و رساندن آب به محل مصرف، روبرو هستند. برخی از گونه‌های آگامیدها مانند گونه فرینوسفالوس (Schwenk & Greene, 1987, 134)



تصویر ۲- مقایسه زمان پخش آب بر روی سطح پوست فرینوسفالوس عربیکوس و سارالوریکاتا. مأخذ: (Comanns et al., 2011, 204-214)

جدول ۳- معادل‌سازی ساختمان و ویژگی‌های پیکره آگاما.

متغیر	معادل در بنا	متغیر	معادل در بنا
ضخامت پوست آگاما	R-valu بام R-valu دیوار ضخامت پوسته	وضعیت بدن آگاما در استراحت	جهت‌گیری ساختمان نسبت به تابش خورشیدی
کندوهای فوقانی	ضخامت شیشه داخلی و خارجی	کندوهای تحتانی	جذب خورشیدی کف
لایه هوا زیر فلس	ضخامت گاز بین شیشه‌ها و R-valu هوا	وجود رطوبت در حفره فلس‌ها	مرطوب کردن داخل پوسته



دیگر در کنترل حرارت از طریق پوسته، میزان جذب انرژی تابشی بهینه در نظر گرفته شده است. گام اول در ارزیابی مدل بهینه‌سازی، بررسی خصوصیات ریاضی توابع هدف، قیود مسأله و متغیرهای تصمیم‌گیرنده می‌باشد؛ شامل اینکه تابع هدف مشتق‌پذیر یا مشتق‌ناپذیر، خطی یا غیرخطی، تک‌هدفه یا چندهدفه و غیره باشد، متغیرهای تصمیم‌گیرنده پیوسته یا گسسته باشند، ناحیه جواب امکان‌پذیر محدب یا غیرمحدب باشد (گودرزی، ۱۳۹۵). هرکدام از این تفاوت‌ها روی حل مدل مؤثر و جواب مسأله وابسته به آن است. در مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه، هدف، بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی یک شاخص خاص نسبت به یک سری پارامتر است. در اکثر مسائل به‌علت وابستگی و ارتباط توابع به هم نمی‌توان فقط به بهینه‌سازی یک شاخص پرداخت و باید چندین تابع هدف را به طور هم‌زمان تعریف نمود که به این نوع مسائل بهینه‌سازی، بهینه‌سازی چندهدفه (چندمعیاره) می‌گویند (Taghdisian et al., 2014). روابط بهینه‌سازی چندهدفه در فرمول (۱) آورده شده است. با توجه به اینکه در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه با بیش از یک تابع برخورد می‌شود؛

فرمول ۱- فرمول محاسبه توابع هدف.

$F(x)=[f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]^T$ $\text{Subject to: } g(x) \leq 0, h(x) = 0$ $x \in R^n, f(x) \in R^k, g(x) \in R^m \text{ and } h(x) \in R^q$ $X = \{x \mid g_m(x) \leq 0, m = 1, 2, 3, \dots, m\}$ $\{h_q(x) = 0, q = 1, 2, 3, \dots, q\}$ $S = \{F(x) \mid x \in X\}$	$k \geq 2$ تعداد توابع هدف، m تعداد قیود نامساوی p تعداد قیود مساوی $x \in R^n$ برداری از متغیرهای تصمیم‌گیرنده n تعداد متغیرهای تصمیم‌گیرنده مستقل فضای تصمیم‌گیری ممکن فضای هدف ممکن $f(x)$ مجموعه توابع قیود نامساوی $h(x)$ مجموعه توابع قیود مساوی X برداری از توابع هدف
--	--

هرکدام را به عنوان پاسخ بهینه در نظر گرفت. لذا هدف از انجام یک مسأله بهینه‌یابی چندهدفه یافتن نمودار پرتو خواهد بود. در سیستمی با دو تابع هدف، نمودار پرتو به صورت منحنی و در بهینه‌یابی سه‌هدفه جبهه پرتو به صورت ابری از نقاط در فضای سه‌بعدی تعریف می‌شود.

یافته‌ها

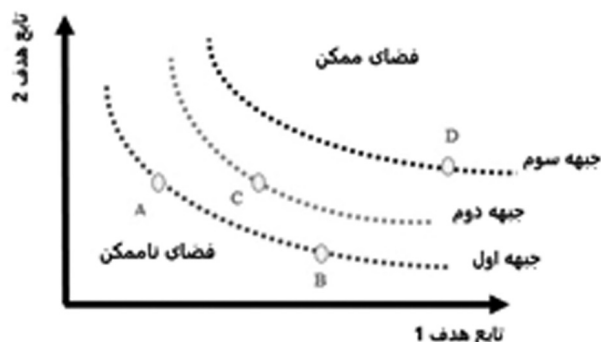
در پژوهش حاضر به جای مطالعه پارامتریک و بررسی یک به یک متغیرها به بهینه‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک چندهدفه نامغلوب (NSGA-II)^۵ که هیچ‌گونه محدودیتی در تعداد توابع هدف و هم‌چنین پیوسته یا گسسته بودن متغیرها ندارد پرداخته شده است؛ از دیگر مزیت‌های این نرم‌افزار توسعه یافته‌ی بهینه‌ساز می‌توان به سازگار بودن با هر نسخه‌ی انرژی‌پلاس اشاره نمود. در بالا تعدادی از متغیرهای تحلیل شامل ضخامت پوسته، مقاومت حرارتی دیوار، مقاومت حرارتی بام، جهت‌گیری ساختمان نسبت به پرتوهای تابشی و جذب خورشیدی پوسته شناسایی شدند. حال با توجه به مشخصات نمای ساختمان که دارای نورگذر در سمت شمالی و جنوبی است باید به شناسایی تعدادی متغیر دیگر در رابطه با نورگذرهای پرداخت که انرژی تابشی از خورشید را دریافت می‌کنند. برای جلوگیری از انتقال گرمای ناشی از تابش از نورگذرها، پنجره دوجداره در نظر گرفته شده است. این پنجره دارای سه متغیر شامل ضخامت شیشه خارجی، ضخامت گاز داخلی مابین شیشه‌ها و ضخامت شیشه داخلی است (تصویر ۴).

ضمناً طول و ارتفاع نورگذر شمالی برای داشتن چشم‌انداز، ثابت در

روبروی تابش که با توجه به شرایط بحرانی تابش در جبهه جنوبی در نظر گرفته می‌شود.

لایه‌های پوستی به لایه‌هایی از مصالح مختلف در تشکیل دیوار و بام ترجمه و مقاومت حرارتی بهینه (R-value)^۶ برای مجموع این لایه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. تغییر زاویه راه کار دیگری است که آگامیدها برای کنترل میزان حرارت دریافتی به کار می‌گیرند. از آنجا که ساختمان یک عنصر ایستاست و قابلیت حرکت ندارد تا با تغییر جهت میزان تابش دریافتی را کنترل نماید و با توجه به اینکه در پژوهش حاضر هوشمندسازی ساختمان که منجر به تغییر زاویه در بخش‌های در معرض تابش شود، مورد بحث نیست، تعیین بهینه‌ترین جهت‌گیری ساختمان نسبت به تابش آفتاب، مولفه دیگری را به سایر مولفه‌هایی که تاکنون گفته شد می‌افزاید. آگامید در زمان نیاز به انرژی پوست خود را به رنگ تیره درمی‌آورد و با برطرف شدن این نیاز و در زمان اوج گرما و تابش به رنگ روشن درمی‌آید. این رفتار آگامید به این دلیل رخ می‌دهد که محدوده جذب پرتوهای تابشی برای رنگ‌های مختلف متفاوت است به طوری که رنگ‌های تیره‌تر میزان جذب بالاتری نسبت به رنگ‌های روشن‌تر دارند. در نتیجه مولفه

مجموعه‌ای از جواب‌ها به عنوان نقاط بهینه ارائه می‌شوند. این مجموعه را که در عین عدم داشتن برتری نسبت به هم بر سایر پاسخ‌ها برتری دارند را مجموعه پاسخ بهینه در فضای پرتو می‌نامند (دلگرم، ۱۳۹۴) (تصویر ۳).



تصویر ۳- نمودار پرتو برای مسأله‌ی بهینه‌سازی دوهدفه.
 مأخذ: (Pareto & Rouge, 1896, 438)

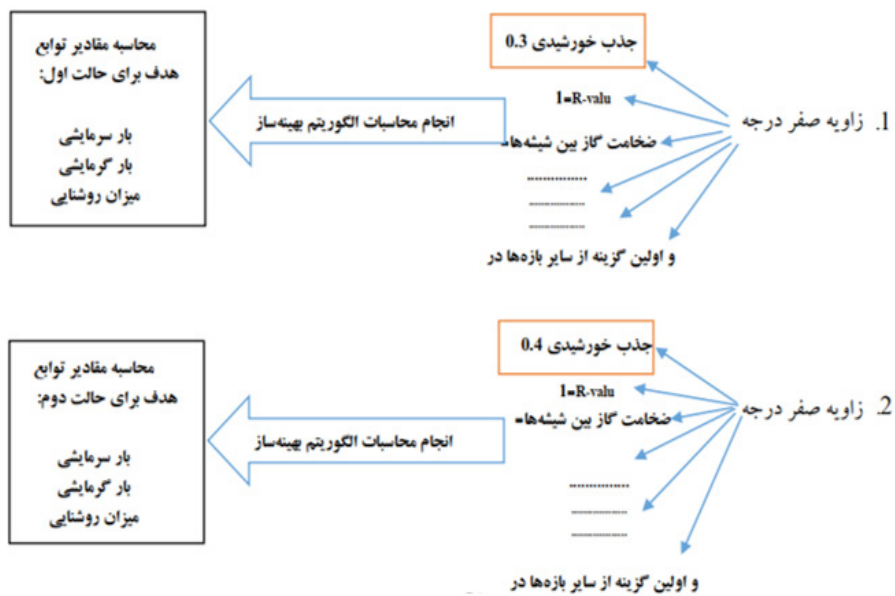
نمودار پرتو برای یک مسأله بهینه‌سازی دوهدفه نمایش داده شده و همانطور که از نمودار برمی‌آید، پاسخ‌های جبهه اول بر جبهه دوم و سوم و پاسخ‌های جبهه دوم بر جبهه سوم دارای برتری هستند. نقاط A و B نسبت به نقطه C مزیت دارند، اگرچه هر دو نقطه به علت قرارگیری روی جبهه پرتو نسبت به هم برتری ندارند. در نهایت تنها پاسخ‌های جبهه اول جزء مجموعه جواب‌های قابل قبول مسأله بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشند. هرکدام از این نقاط قابلیت انتخاب به عنوان نقطه نهایی بهینه را دارند و به خودی خود از جحیتی نسبت به هم ندارند و بسته به موارد مختلف می‌توان

استفاده شده مطابق با مصالح ذکرشده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان با ضریب انتقال حرارت $k=0.7/W/m^2$ و 0.3 به ترتیب برای دیوارهای خارجی و سقف ساختمان فرض شده‌اند. از شیشه Clear تک جداره ۳ میلی‌متر برای نورگذرها استفاده شده است. همچنین برای اتاق یک دیمر فرض شده است تا روشنایی مصنوعی زمانی فعال شود که نور طبیعی اتاق به کم‌تر از ۵۰۰ لوکس برسد. توجه گردد سایر مشخصات شامل ساعات بهره‌برداری روشنایی، حضور افراد، تجهیزات الکتریکی و... تماماً طبق استاندارد ۱۸۹/۱ و Climate zone 169-1B اشاره^۶ فرض شده است. طبق همین استاندارد ست‌پوینت گرمایشی^۷ اتاق در ساعات ۶-۲۲ روی ۲۱ درجه و برای سایر ساعات روی ست‌بک^۸ $15/6$ درجه سانتیگراد تنظیم گردیده است. همچنین ست‌پوینت سرمایشی^۹ نیز در ساعات ۶-۲۲ روی ۲۴ درجه و در سایر ساعات روی ست‌بک ۳۰ درجه تنظیم شده است. نتایج حاصل از محاسبات انرژی توسط نرم‌افزار، مجموعه پاسخ‌های بهینه شامل ۴۹ حالت را در برمی‌گیرد. میزان جذب خورشیدی برای پوسته و همچنین کف و سقف در تمام ۴۹ حالت، 0.3 به‌دست آمده است و بهینه‌ترین حالت از لحاظ حداقل بار سرمایشی در جدول (۵) ذکر شده‌اند.

با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول (۳) و مقایسه با میزان به

نظر گرفته شده است اما طول و ارتفاع پنجره ضلع جنوبی متغیر فرض شده تا نرم‌افزار با انجام محاسبات لازم ابعاد بهینه را ارائه دهد. از طرفی چون میزان جذب تابش توسط کف و سقف مرتبط با نورگذرها نیز در نوسانات دمایی فضای داخلی نقش دارد جذب خورشیدی کف و سقف نیز به دیگر متغیرها اضافه شده است. بازه مجاز برای جهت‌گیری تا ۱۵ درجه به سمت جنوب‌شرقی در نظر گرفته شده تا از افزایش جذب گرمای تابشی در سمت غرب جلوگیری شود (واتسون و لیز، ۱۴۰۰). بازه‌های دیگر با توجه به مقادیر مقررات ملی ساختمان مبحث ۱۹ مشخص شده است (جدول ۴).

در ادامه باید توابع هدف معین گردند. با توجه به این‌که در جهت به حداقل رساندن تابع هدف مذکور روشنایی فضای داخلی نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و با کم‌تر کردن ارتباط با خارج ساختمان نور طبیعی نیز کاهش خواهد یافت میزان روشنایی فضای داخلی (500 لوکس) به عنوان تابع هدف دوم برگزیده شده؛ به این معنی که همزمان بار سرمایشی و گرمایشی حداقل سالانه و روشنایی 500 لوکس از نور طبیعی تأمین گردد. مشخصات پایه ساختمان مورد آزمون برای شروع کار نرم‌افزار بهینه‌ساز به صورت زیر است: تمام دیوارهای شمالی به جز ۵ متر از دو طرف و ۵۰ درصد دیوار جنوبی دارای نورگذر است. مصالح



تصویر ۴- نحوه کار الگوریتم بهینه‌ساز.

جدول ۴- متغیرهای مستقل طراحی.

متغیر	نوع	واحد	بازه‌ی تغییرات	متغیر	نوع	واحد	بازه‌ی تغییرات
جهت‌گیری ساختمان نسبت به تابش خورشیدی	پیوسته	Degree	۱۵-۰	ضخامت شیشه داخلی	گسسته	mm	{۲,۳,۶,۱۲/۵}
جذب خورشیدی پوسته	پیوسته	-	۰/۹-۰/۳	طول پنجره نمای جنوبی	پیوسته	m	۲/۸-۱/۵
R-val دیوار	پیوسته	$[m^2-k/W]$	۵-۱	ارتفاع پنجره نمای جنوبی	پیوسته	m	۱/۴-۱/۲
R-val بام	پیوسته	$[m^2-k/W]$	۵-۱	جذب خورشیدی سقف	پیوسته	-	۰/۹-۰/۳
ضخامت گاز بین شیشه‌ها	پیوسته	mm	۱۴-۳	جذب خورشیدی کف	پیوسته	-	۰/۹-۰/۳
ضخامت شیشه خارجی	گسسته	mm	{۲,۳,۶,۱۲/۵}	ضخامت پوسته	پیوسته	cm	۱۵-۱
R-val هوا	پیوسته	$[m^2-k/W]$	۰/۵-۰/۱				

جدول ۵- بهینه‌ترین مقادیر بدست آمده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس برای متغیرها در حالت بدون لایه هوا.

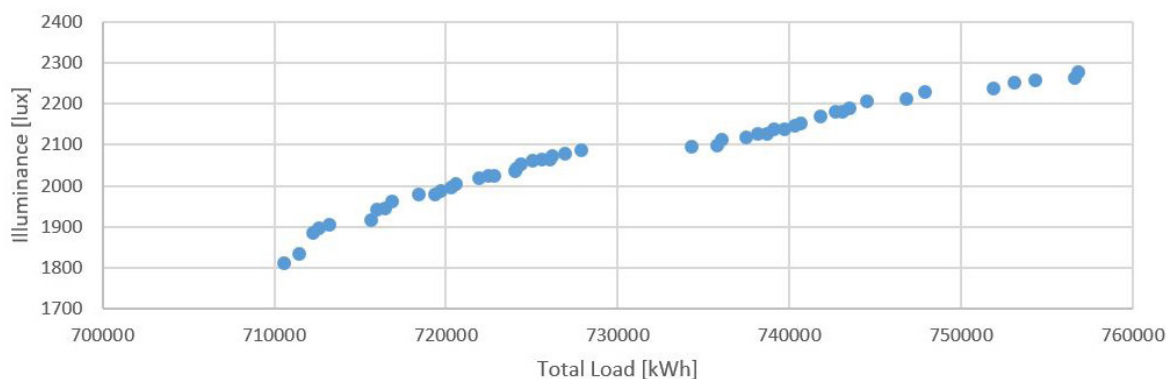
متغیر	میزان بهینه	متغیر	میزان بهینه	متغیر	میزان بهینه
جهت‌گیری نسبت به تابش	۱۴ درجه	R-valu دیوار	۵ m ² k/w	R-valu بام	۴ m ² k/w
ضخامت گاز بین شیشه‌ها	۱۳ میلی‌متر	ضخامت شیشه خارجی	۱۲ میلی‌متر	ضخامت شیشه داخلی	۶ میلی‌متر
ارتفاع پنجره جنوبی	۱/۳ متر	طول پنجره جنوبی	۱/۶ متر	ضخامت پوسته	۱۳ سانتی‌متر
بار سرمایشی kW/h	۶۲۹۴۵۵/۷۶۵۴	بار گرمایشی kW/h	۸۱۱۱۶/۰۸۹۶۲	روشنایی lux	۱۸۱۰/۵۹۰۲۲

نظر گرفته شده است اما طول پنجره بین ۱/۶-۲/۴ در حالات مختلف متغیر است. با نگاه به مقادیر متغیرهای دیگر در ارتباط با ابعاد پنجره مشاهده می‌شود که زاویه ساختمان نسبت به پرتوهای تابشی، ضخامت شیشه‌های داخلی، ضخامت پوسته و مقاومت بام برای جبران گرمای جذب شده از نورگذرها هماهنگ با هم تغییر می‌کنند تا دمای فضای داخلی در حالت بهینه باقی بماند. با توجه به مرتب‌سازی پاسخ‌های بهینه (در جبهه اول) براساس طول پنجره، انتظار می‌رود با چرخش ساختمان به سمت جنوب‌شرقی به دلیل قرار گرفتن پنجره‌های جنوبی در معرض تابش، طول آن‌ها کاهش و ضخامت شیشه افزایش یابد. ملاحظه می‌شود که ضخامت شیشه داخلی در ۷۸ درصد پاسخ‌ها ۲/۵ یا ۳ میلی‌متر است که مربوط به طول پنجره بین ۲-۲/۵ متر می‌شود. در بهینه‌ترین پاسخ، مربوط به زاویه ۱۴ درجه، طول پنجره ۱/۶ متر و ضخامت شیشه داخلی ۶ میلی‌متر محاسبه شده است. این نشان می‌دهد که با رسیدن به زاویه ۱۴ درجه حرارت بیشتری از نورگذرهای ضلع جنوبی دریافت می‌شود که برای جبران آن طول پنجره کاهش و ضخامت شیشه داخلی به طور چشم‌گیری افزایش یافته است. این در حالی است که مقاومت حرارتی بام از بین دو مقدار ۴ و ۴/۵ m²k/w به دست آمده برای مقاومت بام مقدار کم‌تر را پذیرفته است. از طرفی نورگذر بزرگی که در ضلع شمالی واقع شده است نیز با چرخش به سمت جنوب شرقی از قرار گرفتن در مقابل تابش سمت غرب محفوظ مانده اما در معرض میزانی از تابش شرق قرار می‌گیرد که افزایش ضخامت شیشه داخلی نورگذر موجب جبران این بار گرمایی می‌شود. از لحاظ جهت‌گیری در بازه مشخص شده هر چه ساختمان به سمت جنوب شرقی (ساعتگرد) چرخانده شود بار سرمایشی کاسته می‌شود. زاویه ۱۲ درجه بیشترین فراوانی را در بین حالات بهینه دارد اما پاسخ بهینه با زاویه درجه به دلیل برخورداری از کم‌ترین میزان بار

دست‌آمده در حالت اولیه مشاهده می‌شود که میزان بار سرمایشی به اندازه ۱۶/۷۵ درصد کاهش یافته است. این میزان کاهش نشانگر این است که تقلید از رفتار و ساختار پوستی خزننده در مقابل تابش شدید خورشید برای طراحی ساختمان با مصرف کم‌تر منابع انرژی موفق عمل نموده است. از آنجا که هدف از انجام یک مسأله بهینه‌یابی چندهدفه یافتن نمودار پرتو می‌باشد؛ تصویر (۴) به عنوان نمودار پرتو برای ۴۹ حالت بهینه اخیر ارائه شده است. نمودار سه جبهه از پاسخ‌ها را نشان داده اما در نهایت تنها پاسخ‌های جبهه اول جزء مجموعه جواب‌های قابل قبول بهینه‌سازی می‌باشند. این جبهه از پاسخ‌ها بار سرمایشی از ۶۲۹۴۵۵/۷۶۵۴-۶۴۸۴۵۹/۷۰۸ کیلووات ساعت را شامل می‌شود که کم‌ترین میزان را نشان می‌دهد. براساس نمودار، با بهبود بار سرمایشی از میزان روشنایی کاسته می‌شود. به عبارت دیگر نور و گرمای حاصل از تابش به طور موازی در افزایش بار سرمایشی نقش دارند و با محدود کردن نورگذر در شوش می‌توان در کاهش بار سرمایشی ساختمان مؤثر بود.

نتایج حاصل براساس محاسبه نرم‌افزار وطنی پروسه‌ای ۹ ساعته به دست آمده است. در گام نخست مشاهده می‌شود؛ میزان جذب خورشیدی پوسته و نیز کف و سقف برای تمام حالات یک مقدار ثابت (۰/۳) به دست آمده است که نشان می‌دهد در شوش بهترین رنگ برای نما و کف و سقف، رنگ سفید (با بازه جذب ۰/۳-۰/۴) است. مقاومت حرارتی دیوار برای تمام حالات ۵ m²k/w محاسبه شده است. ضخامت گاز داخلی پنجره‌ها ۱۳ میلی‌متر و ضخامت شیشه بیرونی پنجره‌های دوجداره ۱۲ میلی‌متر به دست آمده است. مقادیری که برای تمام حالات به یک مقدار ثابت به دست آمده‌اند نشان می‌دهند که برای بنای مورد آزمون در شرایط اقلیمی شوش بهترین مقادیر در جهت کاهش مصرف انرژی هستند. در بررسی ابعاد پنجره‌های جنوبی ارتفاع در تمام حالات به جز یک مورد ۱/۳ متر در

Pareto Front



تصویر ۵- نمودار پارتو بهینه برای حالت پوسته متصل به نما (انرژی‌پلاس).

نرم افزار، به جز در مورد جهت‌گیری و طول پنجره جنوبی، تقریباً ثابت هستند. در بازه صفر تا ۱۵ درجه شرقی بجز زاویه ۳ درجه با انتخاب هر میزانی از بازه مربوطه می‌توان به یک یا چند گزینه بهینه دست یافت؛ که نشان می‌دهد که با احتساب لایه هوا میان دیواره خارجی و پوسته، تمرکز بیشتر باید بر ابعاد نورگذرهای ضلع جنوبی باشد. در محاسبات حرارتی با پوسته مرطوب به مدل‌سازی هم‌زمان حرارت-رطوبت جدارهای بیرونی پرداخته شده است. جهت محاسبه رطوبت در نرم‌افزار انرژی پلاس از الگوریتم بالانس حرارتی^۱ استفاده شده است. در تصویر (۶) دمای سطح شمالی که با این روش مدل شده، در طول سال به صورت ساعتی به نمایش گذاشته شده است. در نهایت پس از مدت زمان لازم و انجام محاسبات حرارتی و رطوبتی به روش گفته‌شده بار گرمایی حاصل از وجود رطوبت در زیر پوسته ساختمان برابر با $83347/20$ کیلووات‌ساعت و بار سرمایشی به‌دست‌آمده برابر با $884420/71$ کیلووات‌ساعت محاسبه گردید. بار سرمایشی در این حالت حدود ۱۷ درصد نسبت به حالت پایه افزایش دارد. به این معنی که مرطوب نمودن فضای داخلی پوسته امری نامطلوب و در جهت افزایش بار حرارتی وارده عمل خواهد نمود. احتمال می‌رود افزایش حرارت ناشی از وجود رطوبت در پوسته به دلیل بسته‌بودن کامل پوسته باشد.

بحث

در این پژوهش لایه تشکیل شده از فلس‌ها در خزندگان به صورت پوسته ساختمان در نظر گرفته شده است. با توجه به این که در به حداقل رساندن تابع هدف مذکور (بار سرمایشی) روشنایی فضای داخلی نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و با کم‌تر کردن ارتباط با خارج ساختمان نور طبیعی نیز کاهش خواهد یافت. میزان روشنایی فضای داخلی (۵۰۰ لوکس) به عنوان تابع هدف دوم برگزیده شده است. به این معنی که هم‌زمان بار سرمایشی حداقل سالانه و روشنایی ۵۰۰ لوکس از نور طبیعی تأمین گردد. با وارد کردن مفروضات مشخص شده در بخش قبل به

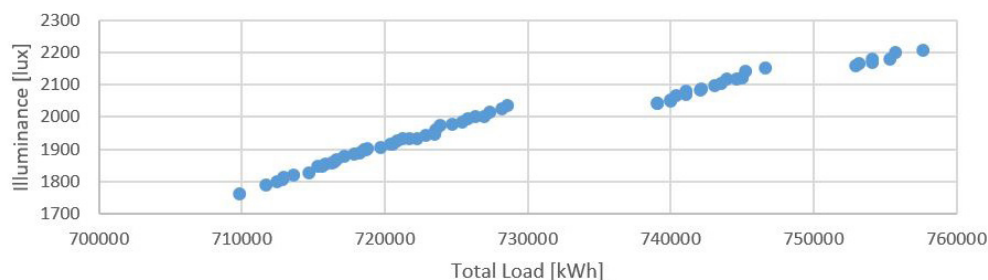
سرمایشی به عنوان بهترین پاسخ برگزیده شده است. از مطالب گفته شده استنباط می‌شود که علاوه بر انتخاب مقادیر ثابت به‌دست آمده از نرم‌افزار، توجه به زاویه قرارگیری ساختمان نسبت به خورشید، ابعاد نورگذر در سمت جنوب و در نهایت ضخامت شیشه‌ها برای داشتن دمای بهینه در فضای داخلی در شوش بسیار حائز اهمیت است. نتایج حاصل از محاسبات انرژی نرم‌افزار با وجود پوسته و لایه هوای میانی، ۶۳ حالت بهینه را در برمی‌گیرد. همانند حالت بی‌پوسته، این حالت میزان جذب تابش برای پوسته و همچنین کف و سقف در تمام حالات $0/3$ به‌دست آمده است. سایر مقادیر برای بهینه‌ترین حالت در جدول (۶) آمده‌اند. پاسخ‌های جبهه اول ۴۰ حالت را در برمی‌گیرند. پاسخ جبهه اول شامل کم‌ترین بار سرمایشی محاسبه شده از $629337/3 - 649605/7$ کیلووات‌ساعت است (شکل ۶).

بار سرمایشی در بهینه‌ترین حالت $16/77$ درصد بار سرمایشی در حالت اولیه است که تفاوت چندانی با حالت بدون لایه هوا ندارد. با توجه به تعداد بیشتر پاسخ‌های بهینه (اعم از کل پاسخ‌ها و پاسخ‌های جبهه اول) می‌توان گفت دمای بهینه داخلی با انعطاف بیشتری به لحاظ تغییر میزان متغیرها قابل دست‌یابی است. در این حالت نیز بهترین جواب، مربوط به زاویه ۱۴ درجه است. مقادیری که برای برخی متغیرها در تمام حالات به یک میزان ثابت به‌دست آمده است شامل موارد زیر است: میزان جذب خورشیدی پوسته و کف و سقف: $0/3$ ، ضخامت شیشه داخلی: $2/5$ میلی‌متر، ضخامت شیشه خارجی: 12 میلی‌متر، ضخامت گاز بین شیشه‌ها: 14 میلی‌متر، مقاومت حرارتی بهینه دیوار و بام: $4/5$ m^2k/w . ضخامت پوسته در تمام حالات سه مقدار 13 ، 15 سانتی‌متر را می‌پذیرد. مقاومت لایه هوا در اکثر موارد $0/46$ m^2k/w محاسبه شده است. ارتفاع پنجره جنوبی نیز در بیشتر حالات $1/3$ متر به‌دست آمده است. زوایای 0 و 1 و 2 درجه بیشترین فراوانی را در بین مقادیر به‌دست آمده برای جهت‌گیری ساختمان به خود اختصاص داده‌اند. با در نظر گرفتن لایه هوا بین ساختمان و پوسته، مقادیر بهینه محاسبه شده

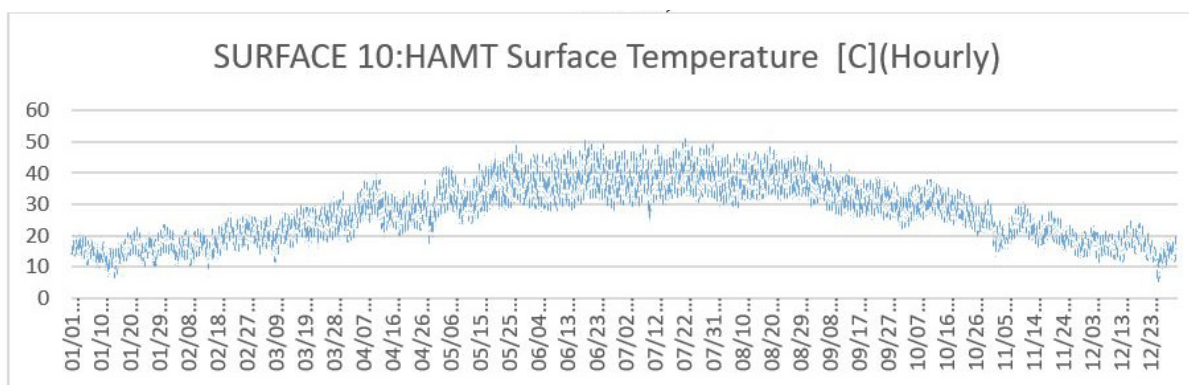
جدول ۶- بهینه‌ترین مقادیر به‌دست‌آمده از نرم‌افزار انرژی پلاس برای متغیرها در حضور لایه هوا با $R\text{-valu } 0/46$ m^2k/w .

متغیر	میزان بهینه	متغیر	میزان بهینه	متغیر	میزان بهینه
جهت‌گیری نسبت به تابش	۱۴ درجه	R-valu دیوار	m^2k/w ۴/۵	متغیر	میزان بهینه
ضخامت گاز بین شیشه‌ها	۱۴ mm	ضخامت شیشه خارجی	۱۲ mm	ضخامت شیشه داخلی	mm ۲/۵
ارتفاع پنجره جنوبی	m ۱/۳	طول پنجره جنوبی	m ۱/۶	ضخامت پوسته	cm ۱۳
بار سرمایشی kW/h	$629337/2951$	بار گرمایشی kW/h	$629337/2951$	روشنایی lux	$1758/601302$

Parerto Front



تصویر ۶- نمودار پرتو بهینه برای حالت پوسته با لایه هوای میانی.



تصویر ۷- دمای یکی از سطوح شمالی در طول سال به صورت ساعتی با روش الگوریتم بالانس حرارتی.

جدول ۷- مفروضات و نتایج محاسبات انرژی پلاس در حالت اولیه.

نتایج			مفروضات						
روشنایی	بار گرمایشی	بار سرمایشی	ارتفاع پنجره جنوبی	طول پنجره جنوبی	ضخامت شیشه	مقاومت R-value بام	R-value دیوار	جذب تابشی بام و دیوارها	جهت گیری
۱۶۲۰ لوکس	۸۵۰۷۳ kW/h	۷۵۶۱۴۴ kW/h	۱/۵ متر	۱/۹۴ متر	۳ میلی متر	۳/۳۳ m ² k/W	۱/۴۳ m ² k/W	۰/۷	۰ درجه

مطلب است که تقلید از رفتار و ساختار پوستی خزنده در مقابل تابش شدید خورشید برای طراحی ساختمان با مصرف کم تر منابع انرژی موفق عمل نموده است. بار سرمایشی در بهینه ترین حالت در همان ساختمان با پوسته ای که از طریق یک لایه هوا با جداره فاصله دارد ۱۶/۷۷ درصد حالت اولیه است که تفاوت چندانی با حالت بدون لایه هوا ندارد. با توجه به تعداد بیشتر پاسخ های بهینه به دست آمده در حالت اخیر (دارای لایه هوا) می توان گفت دمای بهینه داخلی با انعطاف بیشتری به لحاظ تغییر میزان متغیرها قابل دستیابی است. برای مدل سازی هم زمان حرارت و رطوبت جدارهای بیرونی ساختمان از الگوریتم بالانس حرارتی استفاده شده است. بار سرمایشی در این حالت حدود ۱۷ درصد نسبت به حالت پایه افزایش دارد. به این معنی که مرطوب نمودن فضای داخلی پوسته نامطلوب و در جهت افزایش بار حرارتی وارده عمل می کند. افزایش حرارت ناشی از رطوبت پوسته به دلیل بسته بودن کامل آن است.

نرم افزار، نتایج در حالت اولیه (بدون پوسته) به صورت جدول (۷) محاسبه شده است.

با فرض وجود پوسته برای ساختمان و اعمال متغیرها و توابع هدف به همراه بازه تغییرات مجاز و پیش فرض های مربوطه، محاسبات انرژی برای برآورد نهایی بار سرمایشی حاصل از دریافت انرژی گرمایی تابشی از نمای ساختمان محاسبه شده است. از طرفی با انجام عمل بهینه سازی بهترین مقادیر برای متغیرها به دست آمده است. نتایج با هدف بررسی تأثیر لایه هوا بین ساختمان و پوسته (به تقلید از لایه هوای زیر فلس در نمونه مورد مطالعه) در دو حالت شامل پوسته بدون لایه هوا و پوسته با لایه هوا مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به مقادیر حاصل از محاسبه انرژی و مقایسه با میزان به دست آمده در حالت اولیه مشاهده می شود که میزان بار سرمایشی در ساختمان مربوطه با پوسته متصل به نما به اندازه ۱۶/۷۵ درصد کاهش یافته است. این میزان کاهش موید این

نتیجه

سالانه، عملکردی موفق داشته است. ارقام ثابت به دست آمده از قبیل میزان جذب خورشیدی نما، مقاومت حرارتی بام و دیوارها، ضخامت گاز داخلی پنجره های دو جداره برای نورگذرها و نیز ضخامت شیشه بیرونی میزان پیشنهادی برای طراحی در اقلیم شهرستان شوش را نشان می دهد. از طرف دیگر اختلاف بار گرمایی محاسبه شده در حالات با زاویه جهت گیری متفاوت نسبت به پرتوهای تابشی از خورشید، بیان گر اهمیت متغیر مذکور خواهد بود. تأثیر ضخامت شیشه داخلی در این اقلیم نیز با نگاه به روند تغییرات این پارامتر مشخص می شود. با مقایسه نتایج حاصل از منظور کردن لایه هوا بین پوسته و جداره ساختمان، مشاهده می شود که بار سرمایشی تغییر بسیار ناچیزی داشته ولی تعداد بیشتری از پاسخ های بهینه را شامل می شود که خود حاکی از ترجیح بهره گیری از لایه هوا به عنوان عایق در اقلیم مربوطه است. در بررسی اثر پوسته مرطوب بر میزان بار حرارتی نیز نتیجه حاصل حاکی از افزایش بار حرارتی

در پژوهش حاضر سعی شده است تا با بهره گیری از رویکرد بیومیمتیک و یافتن موجودات زنده مقاوم به حرارت ناشی از تابش آفتاب در فصول گرم شوش اصولی استخراج شود که قابل تقلید و استفاده در صنعت ساختمان سازی در چنین اقلیمی باشد. نتیجه جست و جوی ها سه آگامید بومی منطقه از خزندگان بومی این ناحیه را شامل می شود. با کنکاش در آثار و مطالعات علمی و نیز مصاحبه با متخصصین در رابطه با آگامیدها به ویژگی های چندی از لحاظ رفتاری و ریخت شناسی دست یافته شده است که در مقاومت گرمایی این خزندگان تأثیرگذار تشخیص داده شده اند. در مراحل بعدی با استخراج مجموعه ای از متغیرهای مؤثر در دریافت حرارت تابشی و توابع هدف مربوطه، با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس به محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی سالانه و مقایسه نتایج با حالت اولیه (بدون تقلید از خزنده) پرداخته شد. نتایج حاصل حاکی از آن است که تقلید از آگامیدهای مذکور با کاهش ۱۶/۷۵ درصد بار سرمایشی

شوش برشمرد:

۱. استفاده از رطوبت در لایه‌های میانی به صورتی امکان‌تپویه در آن لایه وجود داشته باشد.

۲. ترجیح استفاده از هوا به عنوان عایق

جهت تکمیل پژوهش پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده مواردی مانند تغییر در ظرفیت حرارتی مصالح، آزمون مصالح جدید، بررسی گزینه‌های دیگر در مرطوب کردن جداره و نسبت عمق حفره به دهانه مورد توجه قرار گیرند.

و مصرف انرژی بوده که دلیل این افزایش به بسته‌بودن پوسته ربط داده شده است و اگر طبق شرایطی امکان ایجاد روزنه در پوسته فراهم گردد با احتمالی بالا به کاهش بار حرارتی خواهد انجامید. نتیجه این که مطالعه بیشتر آگامیدهای مطرح شده و استخراج ویژگی‌های بیشتر آن‌ها قطعا نیازمند مشاوره و همکاری با متخصصان و زیست‌شناسان مجرب در این زمینه است. ویژگی‌هایی از قبیل آن چه ذکر گردید در جهت بهبود روند مصرف انرژی و منابع در صنعت ساختمان راه‌گشا خواهد بود. به طور خلاصه می‌توان موارد زیر را کاربردهای بهره‌گیری از آگامای

پی‌نوشت‌ها

۱. jEPlus+EA نرم‌افزار شبیه‌سازی ساختمان است که برای تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان توسعه یافته است. نرم‌افزار چارچوبی برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی انرژی ساختمان ارائه و به کاربر کمک می‌کند تا گزینه‌های طراحی برای بهبود کارایی و پایداری ساختمان ارزیابی کند.
۲. آگاما (Agama) به هر یک از مارمولک‌های کوچک و دم‌دراز و حشره‌خوار گفته می‌شود.
۳. تکنومورفیک: فن‌آوری مبتنی بر تغییرشکل تدریجی و هوشمندانه ای که جانور در طول زمان انتخاب کرده است (Drack et al., 2017).
۴. R-value (مقاومت حرارتی) به توانایی ماده برای مقاومت در برابر انتقال حرارت در ضخامت معین اشاره دارد.
۵. الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NSGA-II) جز روش‌های مستقیم حل مسائل مکان‌یابی چندهدفه می‌باشد.
۶. این استاندارد مربوط به الزامات مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌باشد.
۷. دمای آسایش در فصل سرد
۸. دما در ساعاتی که ساختمان مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد
۹. دمای آسایش در فصل گرم
۱۰. Combined Heat & Moisture Finite Element (HAMT) یک مدل المان محدود انتقال حرارت-رطوبت است که حرکت و ذخیره گرما و رطوبت در سطوح را به طور همزمان از و به هر دو محیط داخلی و خارجی شبیه‌سازی می‌کند. علاوه بر شبیه‌سازی اثرات بافر رطوبت، HAMT می‌تواند پروفایل‌های دما و رطوبت را از طریق دیوارهای ساختمانی کامپوزیت ارائه کند و به شناسایی سطوح با رطوبت سطح بالا کمک کند.

فهرست منابع

- جزایری، اشرف (۱۳۹۸)، ویژگی‌های خزندگان؛ سوسمارها. استادیار بخش زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه شهیدچمران اهواز، مصاحبه‌کننده: صدیقه سلاطی. ۱۳۹۸/۱۲/۰۲
- دلگرم، نیما (۱۳۹۴)، مدل‌سازی عددی و بهینه‌سازی تأثیر پارامترهای معماری بر مصرف انرژی ساختمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، بهرنگ سجادی (استاد راهنما)، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران
- فرشی حقی، محمودی‌نژاد؛ ناصری، داداشی (۱۴۰۰)، ارزیابی کاربست دانش بیومیمیکری در آموزش طراحی معماری با روش قیاس از طبیعت، معماری و شهرسازی پایدار، ۹(۲)، ۱۱۲-۹۷. 10.22061/jsaud.2021.7748.1859
- قارونی فاطمه؛ عمرانی‌پور، علی و یزدی، محمد (۱۳۹۲) طراحی معماری با رویکرد بیونیک، نمونه موردی طراحی پوسته‌های معماری با الهام از صدف آبالون، معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۵(۱۱)، ۱۲۷-۱۴۰.
- قیابکلو، زهرا (۲۰۱۳)، طراحی آکوستیکی سالن همایش چندمنظوره با الهام از پوسته صدف دریایی، نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۱۸(۳)، ۱۷-۲۴.
- گودرزی، علیرضا (۱۳۹۵)، مدل‌سازی عددی و بهینه‌سازی ساختار جدار خارجی ساختمان با در نظرگرفتن انرژی تولید، پایان‌نامه کارشناسی ارشد
- Al-Obaidi, Karam M., Ismail, M A., Hussein, Hazreena., AR, Abdul Malik. (2017). Biomimetic building skins: An adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 -1472-1491. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.028>
- Badarnah, L. (2018). Environmental adaptation of buildings through morphological differentiation: a biomimetic approach. *Advanced Building Skins Conference*, 1-2 October 2018, Bern, Switzerland.
- Baumeister, D. (2012). *Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Knowledge and Best Practices*. Missoula: Applications, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN 978-0-470-58246- 6, 378 pages. <https://uwe-repository.worktribe.com/output/859242>
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: Harper Collins Publishers. *Biomimicry* 3.8
- Cohen, Y.H. and Reich, Y. (2016). *Biomimetic Design Method for Innovation and Sustainability*. Library of Congress Control Number: 2016938673. © Springer International Publishing Switzerland.p. 26. DOI 1007/10/978-3-319-33997-9
- Comanns, P., Effertz, C., Hischen, F., Staudt, K., Böhme, W. (2011). *Moisture harvesting and water transport through specialized micro-structures on the integument of lizards*. *Beilstein J Nanotechnol*. 2011; 2: 204-214. Doi: 10/3762/bjnano.2/24
- Drack, M., Limpinse, M., de Bruyn, G., J H Nebelsick, J H., Betz, O. (2017). *Towards a theoretical clarification of biomimetics using conceptual tools from engineering design*. *Bioinspir. Biomim*. 13- 016007. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3855.1.1>
- Gebeshuber, I., Drack, M. (2008). An attempt to reveal

pages.

Schwenk, Kurt. Greene, Harry W. (1987). Water Collection and Drinking in *Phrynocephalus helioscopus*: A Possible Condensation Mechanism. *Journal of Herpetology*, Vol. 21, No. 2. (Jun., 1987), pp. 134-139

<https://doi.org/10.2307/1564473>

Sherbrooke, W.C. (1990). Rain-harvesting in the lizard, *Phrynosoma cornutum*: behavior and integumental morphology. *Journal of Herpetology*. 24. 302-308

Sherbrooke, W.C. (1993). Rain-drinking behaviors of the Australian Thorny Devil (Sauria: Agamidae). *Journal of Herpetology*. 27. 270-275

<https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.04.003>

ŠMÍD, J., Moravec, J., Kodým, P., Kratochvíl, L., Yousefkhani, S. S. H., & FRYNTA, D. (2014). *Annotated checklist and distribution of the lizards of Iran*. *Zootaxa*, 3855(1), 1-97.†

Speck, T., Speck, O., Beheshti, N., McIntosh, AC. (2008). Process sequences in biomimetic research. *Design and Nature*, 4, p. 3–11. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3855.1.1>

Taghdisian, H., Pishvaie, M.R., Farhadi, F. (2014). Multi-objective optimization approach for green design of methanol plant based on CO2-efficiency indicator. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.032>

Veselý, M.; Modrý, D. J.(2002). *Herpetol.* 36, 311–314.

doi: 10/2307/1566009

synergies between biology and mechanical engineering. In Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*, 222(7), p. 1281–1287

<https://doi.org/10.1243/09544062JMES890>

Goel, A.K., Rugaber, S., and Vattam, S. (2009). Structure, behavior, and function of complex systems: the structure, behavior, and function modeling language. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* (AI EDAM), 23(1), p. 23–35.

<https://doi.org/10.1017/S0890060409000080>

Helms, M., Vattam, S.S., and Goel, A.K. (2009). Biologically inspired design: process and products. *Design Studies*, 30(5), p. 606–622 <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.04.003>

Hesselberg, T. (2007). Biomimetics and the case of the remarkable ragworms. *Naturwissenschaften*, 94(8), p. 613–621. [10.1007/s00114-006-0212-0](https://doi.org/10.1007/s00114-006-0212-0)

Iouguina, A., Dawson, J.W., Hallgrímsson, B., and Smart, G. (2014). Biologically Informed Disciplines: a comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others. *Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol. 9, No. 3 -197–205

Mazzoleni, I. (2013). *Architecture follows nature biomimetic principles for innovative design*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742. p 26

Pareto, V., Rouge, F. (1896). *Cours d'Economie Politique*. 438