نشریه مطالعات هنر اسلامی
www.sysislamicartjournal.ir

تحلیل CFD رفتار حرارتی زیستگاه پایدار مریخ با تأکید بر مدل‌سازی هندسی گنبدسازی ایرانیان

عطیه دزفولی [۱]، کمال رهبری منش [۲*]، محمد مهدی خیری‌خواه [۳]، جمال‌الدین سهیلی [۴]

[۱] پژوهشگر دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. Atieh.dezfouli@gmail.com
[۲*] (نویسنده مسئول) گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. Dr.rahbari@qiau.ac.ir
[۳] گروه مکانیک، دانشکده صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. Kheirikhah@qiau.ac.ir
[۴] گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. Soheili@qiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی
شماره ۵۱
دوره ۲۰
صفحه ۱۴۸ الی ۱۷۳

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷
تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱
تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱

کلمات کلیدی

مسکن،
هویت،
شخصی‌سازی،
خودِ گسترده،
خوانایی.

ارجاع به این مقاله

دزفولی, عطیه, رهبری منش, کمال, خیری خواه, محمد مهدی, & سهیلی, جمال الدین. (۱۴۰۲). تحلیل CFD رفتار حرارتی زیستگاه پایدار مریخ با تأکید بر مدل‌سازی هندسی گنبدسازی ایرانیان. مطالعات هنر اسلامی, ۲۰(۵۱), ۱۴۸-۱۷۳.

dorl.net/dor/20.1001.1.*******.****.**.**.*.*/

dx.doi.org/10.22034/IAS.۲۰۲۳.۳۸۸۹۸۳.۲۱۷۷

چکیده

در عصر حاضر بحران زیست‌محیطی و کمبود انرژی به چالش بزرگی برای معماران، سرمایه‌گذاران و کاربران صنعت ساختمان تبدیل شده است. یکی از الزامات طراحی معماری در جریان دستیابی به ساختمان بهینه از لحاظ مصرف انرژی، میزان دریافت و حفظ (عدم دریافت) دمای حاصل از تابش خورشید در راستای ایجاد آسایش حرارتی ساکنان و کاربران هست. از سوی دیگر با پیشرفت علم و تکنولوژی، تحقیقات و اکتشافات در حوزه‌های گوناگون تنها به زمین محدود نشده و مطالعات زیادی در مورد سفر، اسکان و تمدن فضایی انجام شده است. لذا مهندسان مکانیک به یاری معماران پیوسته‌اند و دیدگاه‌های خود را مشترکاً در مورد زندگی در فضا مطرح نموده‌اند. اساساً، معماری فضا تعمیمی از معماری زمین است و ازآنجاکه حدود ۴۰ درصد از مصرف انرژی در بخش ساختمان است، به‌کارگیری راه‌های گرمایش (و سرمایش) فعال و غیرفعال کمک قابل‌توجهی به کاهش مصرف انرژی می‌کند. ازاین‌رو در این پژوهش، سعی گردید تا ضمن شناسایی مؤلفه‌های مؤثر در ساختار کالبدی و محیطی طراحی زیستگاه پایدار در مریخ، با ایجاد پیکره‌بندی ملهم از گنبدسازی و مناسب با شرایط اقلیمی خاص مریخ، فاکتور تأمین آسایش حرارتی ساکنین زیستگاه را با ترکیب بهینه لایه‌های شیشه و متریال بتن مریخی مورد بررسی قرار دهیم. در این مطالعه از روش تحقیق «شبیه‌سازی و مدل‌سازی» استفاده شده و مواد و روش دستیابی به این هدف، استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری (نرم‌افزار فلوئنت) است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطح بتن مریخی و کاهش سطح شیشه، تشعشع وارد شده موقعیت کمتری جهت خروج از دامنه دارد و اتلاف انرژی کمتر شده است

.اهداف پژوهش:

۱. شناسایی مولفه‌های مؤثر در ساختار کالبدی و محیطی طراحی زیستگاه پایدار در مریخ.
۲. الگوگیری از مدل‌سازی هندسی گنبدسازی ایرانیان در طراحی زیستگاه پایدار در مریخ.

سؤالات پژوهش:

۱. مؤلفه‌های مؤثر در ساختار کالبدی و محیطی طراحی زیستگاه پایدار در مریخ کدامند؟
۲. چگونه می‌توان از مدل‌سازی هندسی گنبدسازی ایرانیان در طراحی زیستگاه پایدار در مریخ الگو گرفت؟

این نوشتار برگرفته از رساله دکتری عطیه دزفولی با عنوان « تبیین مبانی و اصول طراحی سکونتگاههای پایدار مبتنی بر معماری فضایی در مریخ » است که به راهنمایی دکتر کمال رهبری منش و دکتر محمدمهدی خیری خواه و مشاوره دکتر جمال‌الدین سهیلی در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی قزوین در حال انجام است.

2676-7759/ © 2020 Islamic Art Press. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/)

مقدمه

کره زمین تنها جهان شناخته شده‌ای است که پناهگاه حیات هست. در حال حاضر، هیچ جای دیگری وجود ندارد که آن را خانه بنامیم. در طول سال‌ها، انسان‌ها از چیزی ابتدایی به چیزی کم‌تر ابتدایی کامل می‌شود. این تکامل که بستر زندگی ما را شکل داده، انسان را مجاب می‌کند تا آینده را مدنظر قرار دهد. نیازها و خواست‌های ما با کسب اطلاعات بیشتر افزایش‌یافته و میزان اطلاعات ما – و تکنولوژی همراه با آن – منجر به فاجعه می‌گردد؛ تنها فرصت ما درخصوص بقای طولانی‌مدت با نگاه بر سیاره زمین در سطح درونی نیست، بلکه گسترش آن در سطح فضا هست. در کنار آسیب‌شناسی‌های مربوط به بحران‌های عصر حاضر شامل بحران انرژی، افزایش جمعیت انسان‌ها و کاهش ذخایر انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌توان به فرصت‌های زمینه‌ساز ایجاد سکونتگاه‌های فرازمینی نیز اشاره نمود که برخی از این موارد بدین شرح است: میل به کنجکاوی، تنوع‌طلبی و ایجاد هیجان در زندگی روزمره انسان‌ها تمرین شیوه‌ای جدید از زندگی و ارائه راهکارهای خلاقانه برای مقابله با چالش‌های موجود: داوطلبانی که روی مریخ فرود می‌آیند باید در خانه‌های کوچک زندگی کنند، آب موردنیازشان را خودشان پیدا کنند، اکسیژن لازم برای تنفس را خودشان تولید کنند و مواد غذایی موردنیازشان را نیز خودشان کشت کنند. هدف و اولویت اصلی در ایجاد سکونتگاه‌هایی فرازمینی - در حال حاضر، مریخ است.

اگرچه زمین از نظر ترکیب حجمی، اندازه و گرانش سطحی به «سیاره خواهرخوانده» خود «زهره» شباهت دارد، اما شباهت‌های مریخ به زمین در هنگام بررسی‌های دقیق علمی بیشتر قانع‌کننده می‌شود. روز مریخی از نظر مدت‌زمان بسیار نزدیک به روز زمین است. یک روز خورشیدی در مریخ ۲۴ ساعت و ۳۹ دقیقه و ۳۵.۲۴۴ ثانیه است. مریخ دارای مساحتی است که ۲۸.۴ درصد از سطح زمین است که فقط کمی کم‌تر از میزان خشکی زمین (که ۲۹.۲ درصد از سطح زمین است) است. شعاع مریخ نصف زمین و تنها یک‌دهم جرم آن است. این بدان معنی است که حجم آن کم‌تر (~ ۱۵٪) و چگالی متوسط کم‌تری نسبت به زمین دارد. مریخ دارای انحراف محوری ۲۵.۱۹ درجه و شبیه به ۲۳.۴۴ درجه زمین است. در نتیجه، مریخ فصل‌هایی بسیار شبیه به زمین دارد. مشاهدات اخیر توسط مدارگرد شناسایی مریخ ناسا، مریخ اکسپرس ESA و کاوشگر فونیکس ناسا وجود یخ آب در مریخ را تأیید می‌کند(Tithi,۲۰۱۷) اما بایستی توجه داشت که هنگام فرستادن انسان به مریخ باید عوامل زیادی را در نظر گرفت. حتی اگر مریخ ظاهراً شبیه زمین هم باشد، اما این سیاره هزاران سال پیش کاملاً تغییر کرده و امروز یک سیاره متروک و بدون هیچ نشانه‌ای از حیات است(Kent,۲۰۱۹). با این‌حال، آنچه باعث شد که مریخ به سیاره سرد و بیابانی، بدون هیچ نشانه‌ای از حیات تبدیل شود، یکی از اسرار اصلی ناسا است. ازاین‌رو میل به کاوش و دستیابی به ناشناخته‌ها، هم دولت‌ها و هم هر نهاد خصوصی نظیر اسپیس ایکس را به همراه آژانس‌های فضایی رسمی را که قادر به پرتاب موشک هستند را هیجان‌زده می‌نماید که به مریخ بروند. انسان امروزی در حال برنامه‌ریزی برای رفتن و یا حتی ماندن در آنجا است. لذا اکنون امکان رسیدن به مریخ هم‌زمان با سفر ماژلان در اقیانوس آرام وجود دارد(Chaplin,۲۰۱۳). بااین‌حال، وقتی به روند ساخت‌وساز سکونتگاه‌های انسانی در مریخ تمرکز می‌کنیم، راه‌حل‌های ممکن به‌صورت محدودی دیده می‌شوند. گزینه پیشنهادی–

ایجاد زیستگاه‌های مناسب است که می‌توان قبل و یا بعد از ورود اولین انسان به مریخ با استفاده از فناوری نوین و روبات‌های تخصصی ساخت که قطعاً هزینه بر بوده که در غیاب نظارت مستقیم انسان، ممکن است که با مشکلات متعددی همراه باشد.

ضمناً در این رویکرد، موضوع انتخاب مصالح مناسب نیز مطرح می‌شود که مصالح ساختمانی محلی (مریخی) مناسب چه خواهد بود؟ طبیعی است که انتقال همه مواد از زمین به مریخ نیز راه‌حل اقتصادی نخواهد بود و بر پایه مطالعات انجام‌یافته نتیجه گرفته می‌شود که استفاده از مصالح موجود در محل بهترین گزینه برای ساخت سکونتگاه خواهد بود. بنابراین اگرچه ساخت سکونت گاه و همچنین زندگی در مریخ از لحاظ فنی و اجرایی مشکلات عدیده‌ای دارد و اگرچه حل همه این مشکلات کار آسانی نیست، اما با کمک علم مدرن و فناوری‌های ساخت‌وساز جدید است که می‌توانیم آن‌ها را شناسایی و با تمرکز و توسعه آنها، مسیر مناسبی را در اقدامات اجرایی انتخاب کنیم. قبل از اینکه انسان بتواند در مریخ زندگی کند، چیزهای بیشتری از اقدامات فیزیکی وجود دارند که بایستی در نظر گرفته شوند. این مطالعه توضیح می‌دهد که چگونه طراحی زیستگاه‌های فضایی در مریخ بایستی مؤلفه‌های محیطی و کالبدی را قبل از سفر و قصد اقامت در مریخ در نظر بگیرد. ازاین‌رو باتوجه‌به مطالعاتی در حوزه برشمرده‌شده، سعی می‌شود که در این نوشتار به این پرسش اصلی پژوهش پاسخ دهیم که چه مؤلفه‌های محیطی و کالبدی برای طراحی خانه و یا زیستگاه‌های پایدار انسانی در مریخ مؤثر هستند؟ و در ادامه با استفاده از مدل‌سازی CFD به تحلیل میزان آسایش حرارتی ساکنین زیستگاه در مدل پیشنهادی خواهیم پرداخت.

در نیم‌قرن اخیر، مطالعات و تحقیقات متنوعی توسط پژوهشگران در حوزه معماری فضایی صورت پذیرفته است. در ساده‌ترین تعریف، معماری فضایی نظریه طراحی و ساخت محیط‌های ساکن در فضا است. بسیاری از کارهای معماری فضایی در طراحی مفاهیم ایستگاه فضایی مدار و فضاپیماهای اکتشافی ماه و مریخ و پایگاه‌های سطحی برای سازمان‌های فضایی جهان، عمدتاً ناسا بوده است. در اروپا، دانشگاه بین‌المللی فضایی عمیقاً در تحقیقات معماری فضایی شرکت کرده است. کنفرانس بین‌المللی سیستم‌های محیطی هرساله جلسات مختلفی را در مورد فضاپیمای فضایی بشر و عوامل انسانی فضایی برگزار می‌کند. در مؤسسه هواشناسی و فضانوردی آمریکا، کمیته فنی فضای معماری شکل‌گرفته است. با وجود الگوی تاریخی پروژه‌های بزرگ فضایی دولتی و طراحی مفهومی در سطح دانشگاه، ظهور گردشگری فضایی موجب تغییر چشم‌انداز کار معماری فضایی شده است. همان‌گونه که در جدول شماره ۱ نیز مشاهده می‌شود، مطالعات مرتبط با زیستگاه‌های فضایی را می‌توانیم در قالب دو بخش متمایز از یکدیگر طبقه‌بندی کنیم. در دسته اول که عمدتاً اختصاص به مقالات و مطالعات محققین و آینده‌پژوهان ناسا دارد، موضوعات متنوع مربوط به زیستگاه‌های فضایی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است که طی آن محققان، مواردی را بررسی و نکات بسیار ارزنده‌ای بیان نموده‌اند. موضوعات متنوعی همچون چالش‌ها و مسائل فنی مربوط به ساخت سکونتگاه‌هایی فضایی، شیوه معماری پروژه‌های خاصی نظیر پروژه مارس دایرکت، طراحی هوافضا و طراحی و ساخت آنالوگ زیستگاه‌های فضایی، چگونگی انطباق زیستگاه‌های فضایی جهت سازگاری بیشتر و محافظت از سلامت و ایمنی خدمه ساکن در این محل‌ها، متریال

مهم کربن و امکان سنتز و استفاده از CNTها که به‌عنوان نانوتیوب‌های کربنی در تقویت سازه‌های فضایی مؤثر واقع می‌شوند ازجمله موارد مهمی است که در مرکز بررسی‌ها بوده است. علاوه‌بر موارد فوق‌الذکر، برخی از پژوهش‌هایی که در آن‌ها شبیه‌سازی‌های نرم‌افزار فلوئنت و CFD که با مدل‌سازی‌های معماری آمیخته شده و نتایج به‌دست‌آمده در آنها باهدف رسیدن به آسایش حرارتی انسان‌ها در محیط نیز مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل واقع شده است. در دسته دوم نیز گروهی از فعالیت‌های علمی در قالب رشته دانشگاهی تخصصی، تدوین کتاب، بولتن و رسالات دانشگاهی مرتبط با فرایند طراحی سکونتگاه‌های فضایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لذا این مطالعات نیز هرکدام به‌نوعی به روشن‌شدن شرایط واقعی زیستگاه‌های فضایی فرازمینی کمک نموده که حاصل پژوهش‌های متعدد دانشمندان علوم فضایی است.

جدول ۱. مروری بر مطالعات انجام‌گرفته شده در خصوص زیستگاه‌های فضایی (مأخذ: نگارندگان)

ردیف		پدیدآورنده (گان)	سال	عنوان	مضمون و موضوع موردتوجه
مقالات و مطالعات محققین و آینده‌پژوهان ناسا	۱	Robert M. Zubrin & David A. Baker (Zubrin,۱۹۹۶)	۱۹۹۶	Mars Direct: A Simple, Robust, and Cost Effective Architecture for the Space Exploration Initiative	پروژه مارس دایرکت: معماری ساده، قوی و مقرون‌به‌صرفه برای اکتشافات فضایی
	۲	Pugno M Nicola (Pugno,۲۰۰۶)	۲۰۰۶	On the strength of the carbon nanotube-based space elevator cable: from nanomechanics to megamechanics	در این مقاله مدل‌های قطعی و آماری مختلف بر اساس جدید نظریه‌های کوانتیزه شده ارائه شده توسط نویسنده، برای تخمین آن ارائه شده‌اند قدرت کابل آسانسور در فضایی واقعی و کابل شامل ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر طول، از نانولوله‌های کربنی به طول ۱۰۰ نانومتر تشکیل شده است: بنابراین، طراحی آن شامل نانو مکانیک و مگا مکانیک است و به بررسی عیوب احتمالی این سیستم می‌پردازد.
	۳	Özgür Göçer , Aslihan Tavil , and Ertan Özkan; Proceedings of eSim ۲۰۰۶ Building Performance Simulation Conference Faculty of Architecture, Landscape, and Design, University of Toronto, Canada(Göçer et al,۲۰۰۶)	۲۰۰۶	THERMAL PERFORMANCE SIMULATION OF AN ATRIUM BUILDING	در این پژوهش با استفاده از امکانات نرم‌افزارهای شبیه‌ساز Fluent و energy plus و مدل‌سازی یک فضای آتریوم در محیط این نرم‌افزارها، عملکرد تهویه و آسایش حرارتی فضای آتریوم در یکی از ساختمان‌های اداری استانبول به‌عنوان یک سیستم غیرفعال تهویه‌مطبوع مورد آنالیز و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد .
	۴	Shafqat Hussain, Patrick H. Oosthuizen	۲۰۱۳	Numerical investigations of buoyancy-driven natural ventilation in a simple three-storey atrium	در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Fluent شرایط مختلف جریان تهویه طبیعی شناور در ساختمان در طول شبانه‌روز مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شد که گردش آب گرم (۸۰ درجه سانتیگراد) که

		Department of Mechanical and Materials Engineering, Canada (Hussain et al,۲۰۱۳)		building and thermal comfort evaluation	در طول روز توسط کلکنورهای خورشیدی گرم می‌شود، در امتداد دیواره‌های دودکش در طول شب و منابع گرما موجود در ساختمان می‌تواند در ایجاد جریان هوای تهویه شب در ساختمان به‌عنوان بخشی از سیستم تهویه‌مطبوع مفید باشد.
	۵	John Wiley & Sons Ltd. (Wiley et al,۲۰۱٤)	۲۰۱۴	Architecture For Other Planets	ایستگاه‌های سیاره‌ای طراحی شده توسط ناسا به‌عنوان بخشی از برنامه صورت فلکی شامل حمل‌ونقل، ساخت روباتیک و تحرک محلی طراحی پاسگاه پیروی از تمام قوانین عملکرد، ارگونومی، خروج و قابلیت سکونت که معماران زمین هستند دنبال می‌شود. ساختارهای قابل‌استقرار به‌صورت فشرده، سبک‌وزن بسته‌بندی‌شده است که یک محیط دور از زمین قابل‌زندگی باشد.
	۶	A. Jadeja, M.M. Jaiswal, S. Ghosh & P. Sanghavi (Wiley et al,۲۰۱۵)	۲۰۱۵	Thermal comfort analysis of a proposed design for a sustainable living space on Mars	این مقاله شبیه‌سازی‌های CFD را با مدل‌سازی معماری ترکیب می‌کند تا یک فضای زندگی پایدار برای مریخ طراحی کند . یک مطالعه کامل اقلیم‌شناسی برای به‌دست‌آوردن دما و الگوهای تابش خورشیدی با استفاده از PlanetWRF NCAR انجام شده و سپس مکان‌های مناسب برای سکونت انتخاب می‌شوند. کاهش مصرف انرژی با بهره‌مندی از ضخامت لایه‌های جداگانه دیوار به دست می‌آید.
	۷	Tao Chen and Aigen Li (Chen et al,۲۰۱۹)	۲۰۱۹	Synthesizing carbon nanotubes in space	کربن به‌عنوان چهارمین عنصر فراوان در جهان، در محیط بین ستاره‌ای (ISM) در انواع گوناگون وجود دارد. مولکول‌های هیدروکربن در فضا به طور معمول پذیرفته شده‌اند و همچنین نانو الماس‌ها در شهاب‌سنگ‌ها شناسایی شده است. نویسندگان مقاله دریافته‌اند کهCNT ها می‌توانند در فضا از طریق یک مسیر شکل‌گیری امکان‌پذیر سنتز شوند.
	۸	Jasleen Kaur (Kaur,۲۰۱۹)	۲۰۱۹	Integration of Intelligent Health Monitoring Systems Into Inflatable Hybrid Structures	دستیابی به قابلیت اطمینان و عملکرد بهبودیافته سیستم؛ از ساختار زیستگاه گرفته تا سیستم‌های پشتیبانی حیات، مأموریت‌های فضایی انسانی به مجموعه‌ای یکپارچه و قابل‌اعتماد از سیستم‌ها برای زندگی و کار ایمن و کارآمد در فضا نیاز دارند.
	۹	Alamoudi, Doheim, Mohammed (Alamoudi et al,۲۰۲۲)	۲۰۲۲	Humanizing Being on Mars: A Martian Colony	این پروژه یک مطالعه جامع را برای طراحی یک سکونتگاه مناسب ارائه می‌دهد که بتواند زندگی روزمره ایمن انسان را در یک موقعیت محیطی شدید پشتیبانی نماید. لذا چندین مأموریت رباتیک بر روی سطح مریخ انجام شد تا راهی برای قابل‌سکونت کردن و ایمن کردن این سیاره برای انسان پیدا شود.
ردیف		پدیدآورنده (گان)	سال	عنوان	**مضمون و موضوع موردتوجه**
رشته مرتبط دانشگاهی، کتب،	۱۰	Olga Bannova Nejc Trost Dr. Bonnie J. Dunba Larry Bel	۱۹۸۷ تا کنون	University of Houston SICSA'S ADMINISTRATION, TEACHING, AND	دانشجویان مرکز معماری فضایی ساساکاوا دانشگاه هیوستون، در دوره آموزش خود به خلق محصولات سفارشی برای ناسا می‌پردازند. لوک اشمیت یکی از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌ای که گفته می‌شود تنها دوره کارشناسی ارشد معماری فضایی بر روی زمین است

		(Griffin,۲۰۱۸)		RESEARCH FACULTY MASTER OF SCIENCE IN SPACE ARCHITECTURE Houston, Texas https://www.uh.edu	می‌گوید: «وسایلی که در این آزمایشگاه هست، ممکن است روزی ما را به فضا ببرند. این‌ها چیزهایی هستند که دانشجویان در SICSA طراحی می‌کنند، و البته معمولاً به سفارش ناسا یا پیمانکاران آن این کار را انجام می‌دهند.»
	۱۱	Donald Barker Ph.D. & et al (Griffin,۲۰۱۸)	ابتدای تأسیس تا کنون	Space Architecture & Technical Committee (SATC) American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)	کمیته فنی معماری فضا (SATC) یکی از حدود ۷۰ کمیته فنی (TC) در مؤسسه آمریکایی هوانوردی و فضانوردی (AIAA) است. فارغ‌التحصیلان رشته معماری فضایی دانشگاه هیوستون تگزاس و انجمن مهندسین عمران آمریکا عضو این کمیته هستند که به‌صورت حرفه‌ای در طراحی زیستگاه‌های انسانی یا اکتشافات فضایی در سیستم‌ها مشارکت دارند.
	۱۲	Sandra Haupilk-Meusburger & Olga Bannova (Meusburger et al,۲۰۱۶)	۲۰۱۶	Space Architecture Education for Engineers and Architects Designing and Planning Beyond Earth	مؤلفین کتاب آموزش معماری در فضا برای مهندسین و طراحان در چکیده کتاب خود بیان می‌کنند: معماری فضایی به‌عنوان یک‌رشته نسبتاً جدید است. در طول یک کارگاه معماری فضایی، دانشجویان پروژه‌های منحصربه‌فرد خود را در مورد سیستم‌های مسکن طبیعی مدنظر باهدف بهینه‌سازی ایمنی افراد و راحتی آنها تحت شرایط سخت و محدود شده در مسکن فضایی تکمیل می‌کنند.
	۱۳	Brand Norman (S.A.T.C) Griffin (Griffin,۲۰۱۸)	۲۰۱۸	Step-By-Step Process For Designing Weightless Space Habitats	بررسی فرایند گام‌به‌گام طراحی سکونتگاه‌های فضایی (کمیته تخصصی معماری فضایی)
	۱۴	Jasleen Kaur (Kaur,۲۰۱۹)	۲۰۱۹	Integration of Intelligent Health Monitoring Systems Into Inflatable Hybrid Structures	دستیابی به قابلیت اطمینان و عملکرد بهبودیافته سیستم؛ از ساختار زیستگاه گرفته تا سیستم‌های پشتیبانی حیات، مأموریت‌های فضایی انسانی به مجموعه‌ای یکپارچه و قابل‌اعتماد از سیستم‌ها برای زندگی و کار ایمن و کارآمد در فضا نیاز دارند.
	۱۵	Leonardo A. Guzman (Guzman,۲۰۱۹)	۲۰۱۹	Payload Fairing Geometries as Space Stations with Flexible “Plug and Play” Rack System	یک روش طراحی برای اصلاح پرتاب محموله خودروی پرتاب. هندسه ایستگاه‌های فضایی تک یا چند عنصری تحت‌فشار با پلیمر تقویت شده با فیبر کربن با هسته لانه‌زنبوری آلومینیومی (CFRP-Al/HC) ساختار پیشنهادی این رساله برای استقرار ماهواره‌ها می‌تواند به‌عنوان زیستگاه فضایی استفاده شود.
	۱۶	Gerardo Cambronero (Cambronero,۲۰۲۰)	۲۰۲۰	Mission Architecture for Tele-Operated Robotic Exploration of Subsurface Geological Formations on the Moon and Mars	مأموریت معماری برای رباتیک از راه دور اکتشاف سازندهای زمین‌شناسی زیرسطحی در ماه و مریخ

۱. رویکرد معماری فضایی (Astrotecture)

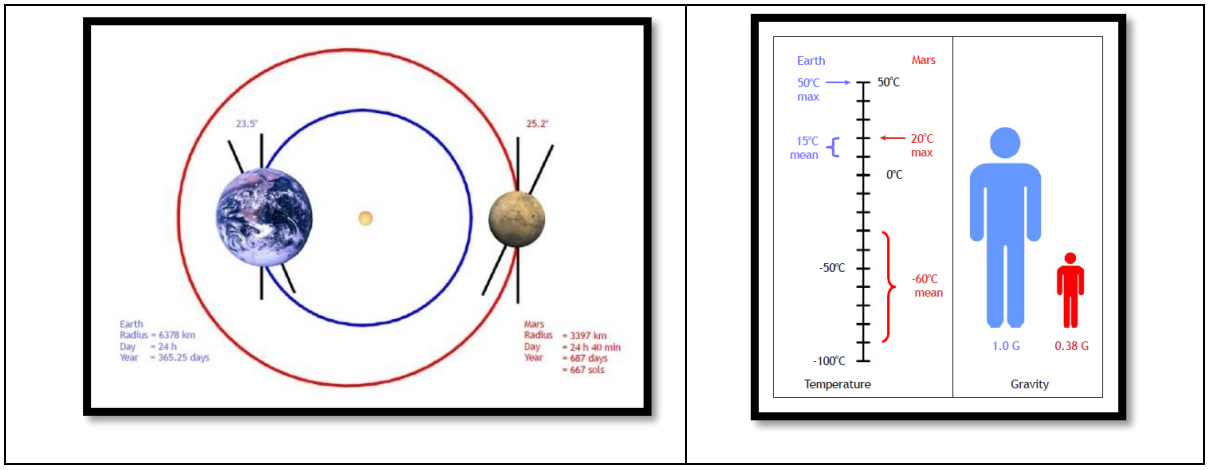
در ابتدای قرن بیست و یک، انسان‌ها در دوره‌ای بدون مرز در هر قاره و محیطی روی کره زمین زندگی می‌کنند. با گذشت زمان، رشد جوامعی که بر محیط‌زیست خود تسلط دارند متوقف شده و به رکود می‌رسند و لزوم ایجاد یک جبهه جدید احساس خواهد شد. اولین مطالعه جدی درخصوص ایجاد ایده زندگی در مریخ از حوزه تخیل به حوزه عملی‌شدن، پروژه مریخ ورنر وان بران بود(Von Braun,۱۹۵۲). اوایل دهه ۱۹۷۰، چند دانشجوی معماری دامنه دفاع از پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی را در مورد مفاهیم ایستگاه فضایی گسترش دادند. در اواخر این دهه، علاقه ناسا به ساخت یک ایستگاه فضایی نیاز به تفکر در سطح معماری را آشکار کرد. این باعث شد پیمانکاران پشتیبانی هوافضا به فکر استخدام یک معمار باشند و به‌مرور ایستگاه فضایی دریچه بیشتری ازجمله معماران ناسا، جامعه گسترده پیمانکاران، و دانشگاهی را که در زمینه نوظهور موسوم به «معماری فضایی» همکاری می‌کنند، گشود. امروزه، یک جامعهٔ بین‌المللی درحال‌رشد از معماران و طراحان صنعتی در سراسر حوزه فضایی مشغول به‌کار هستند. آن‌ها در همه زمینه‌های پروژه‌های فضایی و توسعه مأموریت‌ها ازجمله مریخ‌نورد رباتیک و طراحی کاوشگر، طراحی پایه ماه و مریخ، برنامه‌ریزی و ساخت تأسیسات پرتاب، تعریف و مدیریت ظرفیت مأموریت، آزمایش جاذبه زیر آب و شبیه‌سازی شده، مهندسی سیستم، پشتیبانی کنترل مأموریت فضایی و طراحی و ساخت زیستگاه طبیعی محیط‌زیست زمین نقش دارند(Cohen,۲۰۱٤). زمین یک جرم آسمانی در فضا است. مریخ و ماه نیز همین‌طورند. معماری فضایی فرازمینی (مریخ) با شرایط کاملاً طبیعی از معماری زمینی متمایز است: نور زیاد، فشار اتمسفر کم (بدون)، جاذبه کم (بدون جاذبه)، و تغییرات دمایی زیاد، چند مورد از این تمایز است.

۲. بررسی مولفه‌های محیطی مؤثر در تأمین آسایش حرارتی زیستگاه مریخ

بنابراین، مریخ تنها مکانی در منظومه شمسی است که دارای ظرفیت و پتانسیل تبدیل‌شدن به یک مکان زندگی جدید برای انسان‌ها هست (تصویر ۱). اگر تصمیم به برقراری یک حضور دائمی روی مریخ گرفته شده و ساخت یک سکونتگاه بزرگ و دائمی آغاز گردد، روش‌های ساخت بایستی به‌دقت ملاحظه شوند. اتکا به سکونتگاه‌هایی کاملاً ساخته شده بر روی زمین یک استراتژی ناپایدار است مگر اینکه پیشرفت‌های واقعاً چشمگیری در فناوری حمل‌ونقل ایجاد گردد(Petrov,۲۰۰٤).

۲.۱. فشار اتمسفری

مریخ دارای اتمسفر خیلی نازکی است. حتی در پایین‌ترین نقطه روی سیاره، فشار اتمسفر در حدود ۱۰۰ برابر کمتر از ۱۰۱۳ میلی بار موجود در سطح دریا بر روی کره زمین هست. این بدین معنی است که چالش سازه‌ای اصلی بر روی مریخ تحت‌فشار درونی تمام ساکنان هست. زیستگاه روی مریخ نیز می‌تواند تحت‌فشار ۶۲۰ میلی بار بدون افزایش ریسک برای مهاجران قرار گیرد(Petrov,۲۰۰٤).



تصویر ۱. مقایسه برخی از پارامترهای محیطی در مریخ (قرمز) و زمین (آبی)

(Petrov,۲۰۰٤)

۲/۲. گرانش

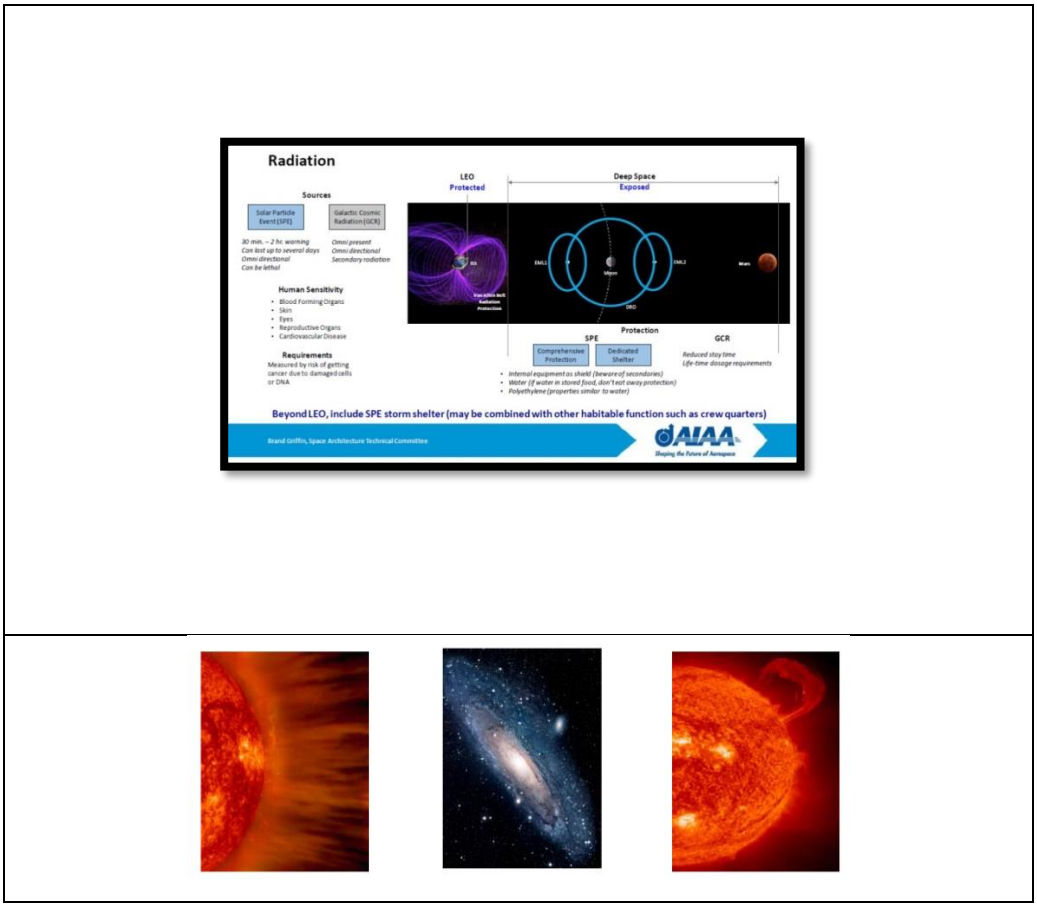
مریخ حدود شش بار کوچک‌تر از زمین بوده و دارای چگالی کل کم‌تری از سیاره زمین است، و در نتیجه دارای گرانش سطحی در حدود ۳۹٪ مقاومت سیاره زمین هست. این امر ساخت‌وساز را آسان‌تر نمی‌سازد. (Petrov,۲۰۰٤).

۲/۳. دما، اتمسفر و گردوغبار

به‌طور متوسط، فاصله سیاره مریخ در حدود ۱.۵ برابر دورتر از فاصله سیاره زمین است که همین مسئله آن مکان را سردتر می‌سازد. متوسط دما حدود ۶۰ - تا ۲۰ + درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. (تصویر ۱)

۲/٤. تشعشع و میدان مغناطیسی

تمام فضاهای قابل‌زیست بایستی از تشعشع یونیزه که به سطح مریخ می‌رسد محافظت شوند. مهاجران مریخ می‌توانند از دو نوع تابش اول با قرارگرفتن در پوشش‌های فضایی زیست‌پذیر با ابعاد حدود یک متر رگولیت خود را مصون کنند... (Zubrin,۱۹۹٦, Griffin,۲۰۱۸). مریخ دارای تکه‌های کوچکی از میدان مغناطیسی باقیمانده سطحی است، اما آنها در نیمکره جنوبی قرار دارند و اندازه یا میزان کافی برای محافظت از سیاره یا یک مهاجر ندارند(Bamford,۲۰۲۱). اگر قرار باشد مریخ اقامتگاه طولانی‌مدتی برای زندگی انسان باشد، احتمالاً به حفاظت از یک مگنتوسفر مغناطیسی ساخته شده مصنوعی با ابعاد سیاره‌ای نیاز خواهد داشت. (تصویر ۲).



تصویر ۲. نمودار تشعشع و میدان مغناطیسی (Petrov,۲۰۰٤)

جدول ۲. مقایسه برخی از مؤلفه‌های محیطی در زمین و مریخ(Petrov,۲۰۰٤)

Parameter	Mars	Earth	Ratio Mars/Earth
Bulk			
Mass (10^24 kg)	0.64	5.97	0.11
Equatorial radius (km)	3397	6378	0.53
Mean density (kg/m3)	3933	5515	0.71
Surface gravity (m/s2)	3.71	9.78	0.38
Escape velocity (km/s)	5.03	11.19	0.45
Solar irradiance (W/m2)	589	1368	0.43
Topographic range (km)	30	20	1.5
Orbital			
Semimajor axis (10^6 km)	227.9	149.6	1.52
Sidereal orbit period (days)	686.98	365.25	1.88
Orbit eccentricity	0.093	0.017	5.6
Length of day (hrs)	24.66	24	1.03
Obliquity to orbit (deg)	25.19	23.45	1.07
Seasons			
Northern Hemisphere	earth days	days	
Spring	171	93	1.84
Summer	199	94	2.12
Fall	171	89	1.92
Winter	146	89	1.64
Mean Temprature (deg C)	-60	15	
Diurnal Range (deg C)	-90 to -30	+10 to +20	
Max Temperature (deg C)	+20	+50	

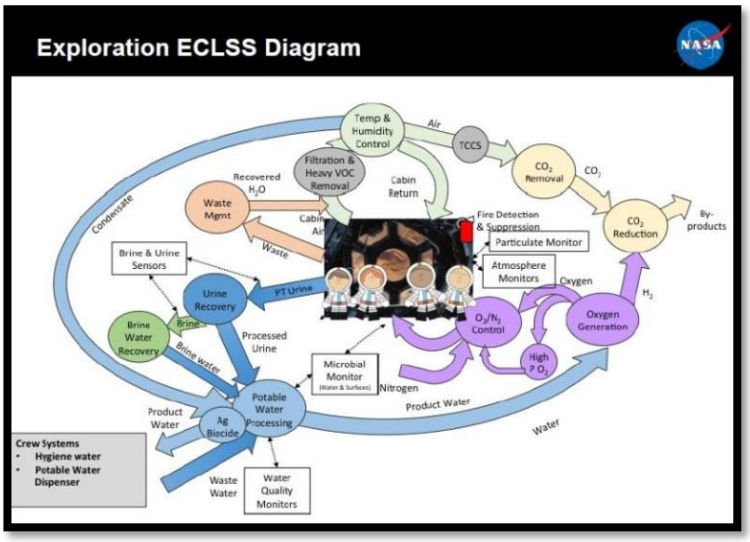
۲/۵. چرخه پشتیبان حیات ناسا و ملاحظات اولیه آسایش محیطی سکونتگاه فضایی

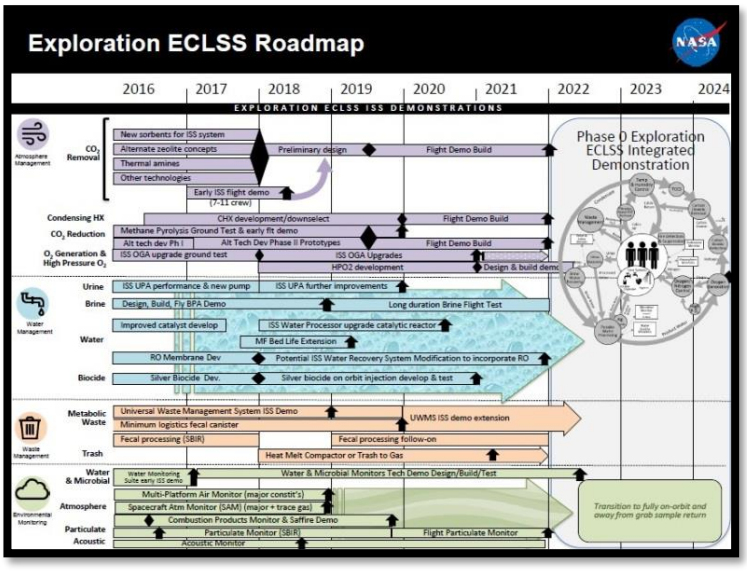
سیستم‌های زیست‌پذیر در سکونتگاه شامل دو بخش خواهند شد: سیستم مکانیکی و استفاده از کشاورزی و کاشت درختان... (Cohen,۲۰۱۵). بر طبق چرخهٔ تجدید حیات ارائه شده توسط ناسا (تصویر ۳) سیستم‌های زیست‌پذیر در سکونتگاه می‌بایست در برگیرنده فاکتورهای اصلی تأمین‌کنندهٔ آسایش خدمه باشند.

در ذیل به برخی از اهداف مهم این چرخه در دیاگرام مذکور اشاره شده است:

- بازیابی بیش از ۷۵٪ O_2 از CO_2 و ۹۸٪ H_2O
- عرضه O_2 بر اساس تقاضا برای موارد پزشکی اضطراری
- فیلتر ذرات و گردوغبار سطحی
- جایگزین‌کردن ردیابی کنترل آلاینده جاذب‌های منسوخ با ظرفیت بالاتر
- پایش جو شامل نظارت بر جو محدود و قابل‌اعتماد برای اجزای اصلی و محفظه داخلی زیستگاه
- نظارت بر آب، کنترل میکروبی آب، شناسایی و تعیین کمیت گونه‌های موجود در آب
- پردازش ۸۵٪ آب از آب‌نمک موجود در ادرار
- فراوری فاضلاب (WPA) قابلیت اطمینان (دمای محیط، کاهش کاتالیزور فشار) و کاهش مصرف مواد

- تصفیه مواد زائد جامد متابولیک و تهیه محصولات مفید از ضایعات
- تعبیه مبدل حرارتی متراکم سطوح آب‌دوست مقاوم و بی‌اثر از نظر شیمیایی با خواص ضدمیکروبی
- قابلیت پزشکی داخل محفظه، تجهیزات کوچک‌تر و کارآمدتر و تعبیه سیستم ذخیره غذایی طولانی‌مدت برای ساکنین





تصویر ۳. سیستم‌های پشتیبان حیات ناسا به همراه نمودار پیشبرد اهداف تا سال ۲۰۲۴ (www.nasa.gov)

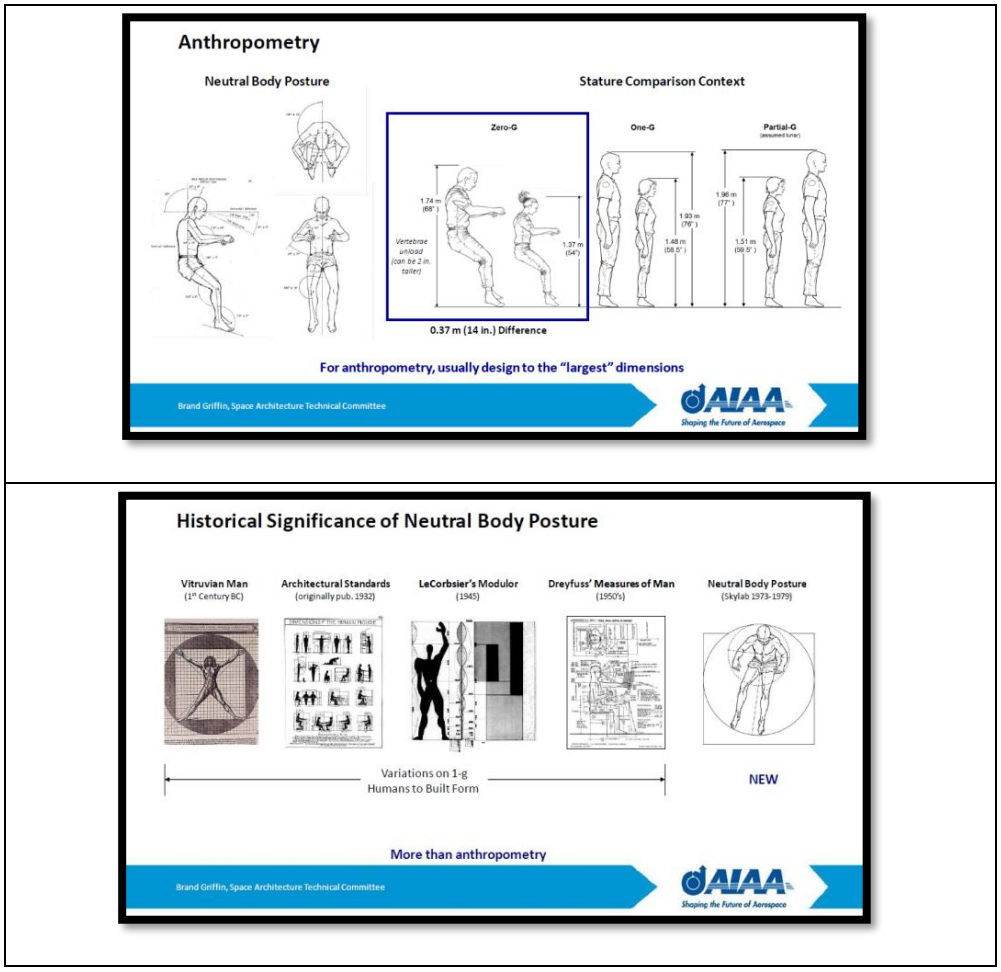
۳. تحلیل یافته‌ها

۳/۱. ملاحظات طراحی باهدف تأمین آسایش حرارتی زیستگاه مریخ

۳/۱/۱. ویژگی‌های بدن انسان در شرایط بی‌وزنی (تکمیل الگوی تناسبات انسانی مدولار لوکوبوزیه)

رویکرد معماری فضایی تفکر مهندسی را با معیارهای مربوط به قابلیت سکنی و فاکتورهای انسانی، از قبیل موارد ملاحظه شده در معماری و طراحی صنعتی، به‌علاوه دربرگیری رشته‌های دیگر همچون پزشکی و علوم ترکیب می‌کند. اهمیت ادغام فاکتورهای انسانی و جنبه‌های انسانی دیگر در فرایند طراحی از سوی طرفین سازمانی مورد اهمیت تشخیص‌داده‌شده است (تصویر ۴).

در مورد رویکردهای طراحی تأسیسات و سیستم‌های فضایی جاری با سنجه‌های وزنی بیشتر در خصوص فاکتورهای انسانی و طراحی مبتنی بر فعالیت‌های انسانی گرفته شود. درک گسترده‌تر در مورد اثرات فیزیولوژیکی و جسمانی مربوط به انسان براساس راهکارهای طراحی و درک نحوه استفاده از طراحی برای اهداف کاهش امری بحرانی برای موفقیت مأموریت‌های کاوشی آتی هستند (Griffin,۲۰۱۸).



تصویر ۴. ویژگی‌های بدن انسان در شرایط بی‌وزنی و ارائه الگوی جدید تناسبات مدولار(Griffin,۲۰۱۸)

۳/۲. بتن مریخی: مصالح پیشنهادی برای سکونتگاه‌های سیاره سرخ

فراوان‌ترین مصالح روی سطح مریخ رگولیت و سنگ هست. در حقیقت، کل سیاره به جز در نقاط قطبی پوشیده از هیچ‌چیزی به جز رگولیت و سنگ نیست. بروس مکنزی، مطرح کرده که اولین مهاجران می‌توانند با استفاده از رگولیت آجر تولید کنند (Mackenzie,۱۹۸۷). سازه بنایی یک ساختمان فشرده مقاوم خیلی قوی هست و به این دلیل انتخاب می‌شود که تنها منبع همواره موجود بر روی سطح مریخ است؛ بااین‌حال، دارای مقاومت کششی پایینی است. برای دادن توانایی دیدن فضایی بیرون از سکونتگاه و امکان دسترسی به سطح، استفاده از سازه بنایی همراه با یک سیستم دیگر که بتواند فشار را از طریق تنش تحمل کند، امری ضروری هست. ایده‌ای که نادر خلیلی معمار صاحب‌نام ایرانی در سمینار ناسا (۱۹۸۴) درخصوص ساخت بناهایی روی ماه با الهام‌گرفتن از طرح معماری کویری و براساس ابر خشت‌ها ارائه کرد نیز مبتنی بر این رویکرد هست(Petrov,۲۰۰٤). محققان دانشکده مهندسی مک‌کورمیک در دانشگاه نورث‌وسترن با استفاده از مواد یافتنی در مریخ، نوعی بتن ویژه مجتمع‌های انسانی در سیاره سرخ ساخته‌اند. بنابر مطالعات انجام‌گرفته شده بهترین راه برای ساخت اقامتگاه در مریخ، استفاده از موادی است که در آن مکان قابل‌دسترسی هستند. دلیل این امر آن است که مواد ساختمانی تا میزان زیادی وزن محموله‌ها را بر روی موشکی که باید به مریخ ارسال شود و همچنین هزینه‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش خواهد داد. نسخه مریخی بتن؛ مانند نمونه زمینی از یک ترکیب سنگ‌ریزه و ماده چسبنده ساخته می‌شود با این تفاوت که بجای سنگ‌ریزه، روی زمین از ترکیب سیمان و آب استفاده می‌شود و محققان از خاک مریخی شبیه‌سازی شده ناسا به شکل توده و گوگرد مذاب استفاده کردند که به‌وفور در مریخ وجود دارد. بتن گوگرد از مزایایی برخوردار است؛ برای مثال، سفت‌شدن آن دو تا سه ساعت طول می‌کشد. در مقایسه بتن زمینی به ۲۸ ساعت زمان نیاز دارد، ازاین‌رو بتن گوگرد در چاپگرهای سه‌بعدی عملکرد بهتری خواهد داشت. این بتن همچنین به طور چشمگیری ضدسایش هستند و ماده تولید شده توسط گروه نورث‌وسترن دوبرابر قوی‌تر از بتن گوگرد است. آزمایش‌ها نشان داد که این ماده در گرانش مریخ به محکمی بتن مورداستفاده در آسمان‌خراش‌های زمین است. (Wan,۲۰۱٦).

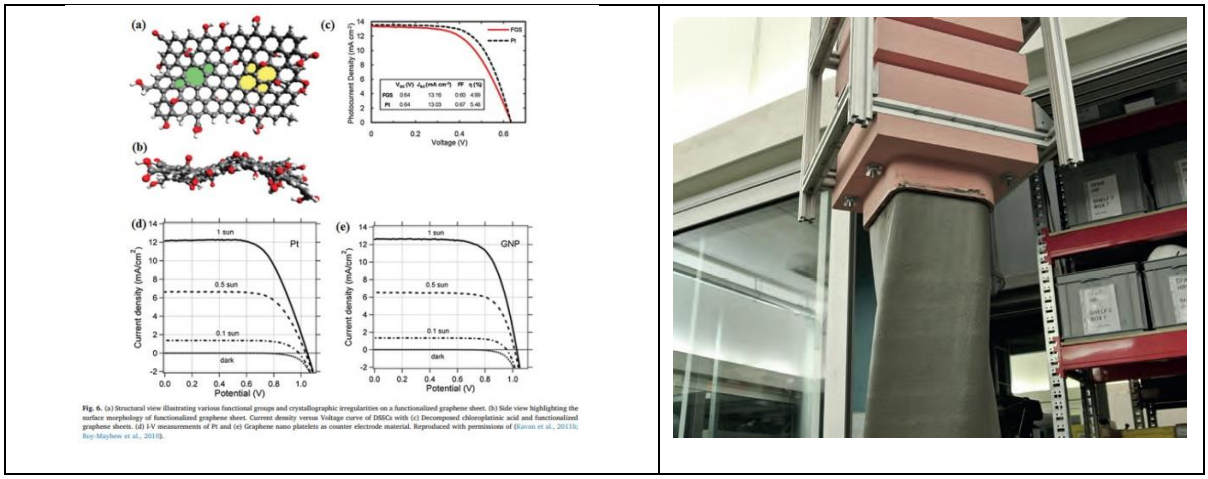
Figure 9: (a) Three point bending (TPB) test setup, (b) fracture surface and (c) typical crack propagation after bending test of Martian Concrete

تصویر ۵. نمونه‌هایی از بتن مریخی قبل و بعد از فشرده‌سازی به همراه آزمایش‌ها مربوط به تعیین میزان خمش، سطح شکست و انتشار ترک (Wan,۲۰۱٦)

۳/۳. استفاده از نانولوله‌های کربنی (CNTs) و گرافن در بتن باهدف تقویت و افزایش استحکام سازه

نانوتکنولوژی دانشی است که درخصوص مهندسی دقیق ابعاد در مقیاس یک میلیاردم متر صحبت می‌کند. در حال حاضر، این علم از حالت تحقیقاتی خارج شده و به‌صورت یک راهبرد سیاسی و تجاری پا به عرصه رقابت گذاشته است، به‌طوری که می‌توان از آن به‌عنوان یک انقلاب صنعتی در قرن اخیر یادکرد. استفاده از فناوری نانو باعث کم‌شدن حجم دستگاه‌های مورداستفاده، کاهش هزینه‌ها، پایین آمدن فرایند و افزایش بهره‌وری شده است. نانوتکنولوژی به معنی انجام مهندسی مواد در ابعاد اتمی - مولکولی و در نتیجه ساخت موادی با خواص کاملاً متفاوت در ابعاد نانو است. درواقع مهم‌ترین ویژگی مواد نانو این است که در ابعاد نانو خواص ماده به‌کلی دگرگون شده و ماده خواصی از خود نشان می‌دهد که بسیار شگفت‌انگیز و عجیب است. از دیگر ویژگی‌های جالب فناوری نانو می‌توان به فوق‌العاده فراگیر بودن و فرارشته‌ای بودن آن اشاره کرد (Sabu,۲۰۱۹). توسعه موفقیت‌آمیز نانوتیوب‌های کربن مصنوعی منجر به تکامل حوزه‌های مهندسی و معماری خواهند شد. ساختارهای نانوتیوب کربن در حال حاضر می‌توانند به طول هزاران متر برسند؛ درحالی‌که بسیار قوی‌تر از فولاد هستند. این امر به‌عنوان شتاب بارزی در جهت توسعهٔ ایستگاه‌های فضایی، با دردسترس‌بودن تکنولوژی بالابرهای فضایی هست(Petrov,۲۰۰٤) . گرافن ماده دوبُعدی از مواد کربنی است که به‌صورت شبکه‌ای شش‌ضلعی تشکیل شده است که باتوجه‌به ویژگی‌هایی نظیر خواص مکانیکی، حرارتی، الکتریکی و اپتیکی بی‌نظیر آن به یکی از جالب‌ترین سوژه‌های دنیای فناوری تبدیل شده است. گرافن لایه‌ای از گرافیت است که به‌صورت بسیار نازک با ضخامتی در حد چند دهم نانومتر از آن جدا می‌شود. اولین‌بار در سال ۲۰۰۴ دو دانشمند از

دانشگاه منچستر موفقیت‌هایی در ساخت این ماده به‌دست آوردند. این دانشمندان توانستند لایه‌ای کربنی به ضخامت یک اتم تولید کنند که دارای قدرت رسانای الکتریکی بسیار قوی بوده و ماده خوبی به‌عنوان نیمه‌رسانا برای ساخت ترانزیستورها محسوب می‌شد. در نهایت، در سال ۲۰۱۰ جایزه نوبل فیزیک به دلیل ساخت گرافن دوبُعدی به این دو دانشمند تعلق گرفت. گرافن به دلیل دارابودن پیوندهای هم ظرفیت بین اتم‌های کربن یکی از با استحکام ترین موادی است که تاکنون شناخته شده است (Sabu,۲۰۱۹). (تصویر۶)



تصویر ۶. ساختار مولکولی صفحات گرافن و نحوه اختلاط فیزیکی آن با بتن (thisisconcrete.co.uk)

در نمودار ذیل به برخی از خواص شگفت‌انگیز این نانو متریال‌ها و کاربرد آنها در ساخت فضاپیماها به‌اختصار اشاره گردیده است.

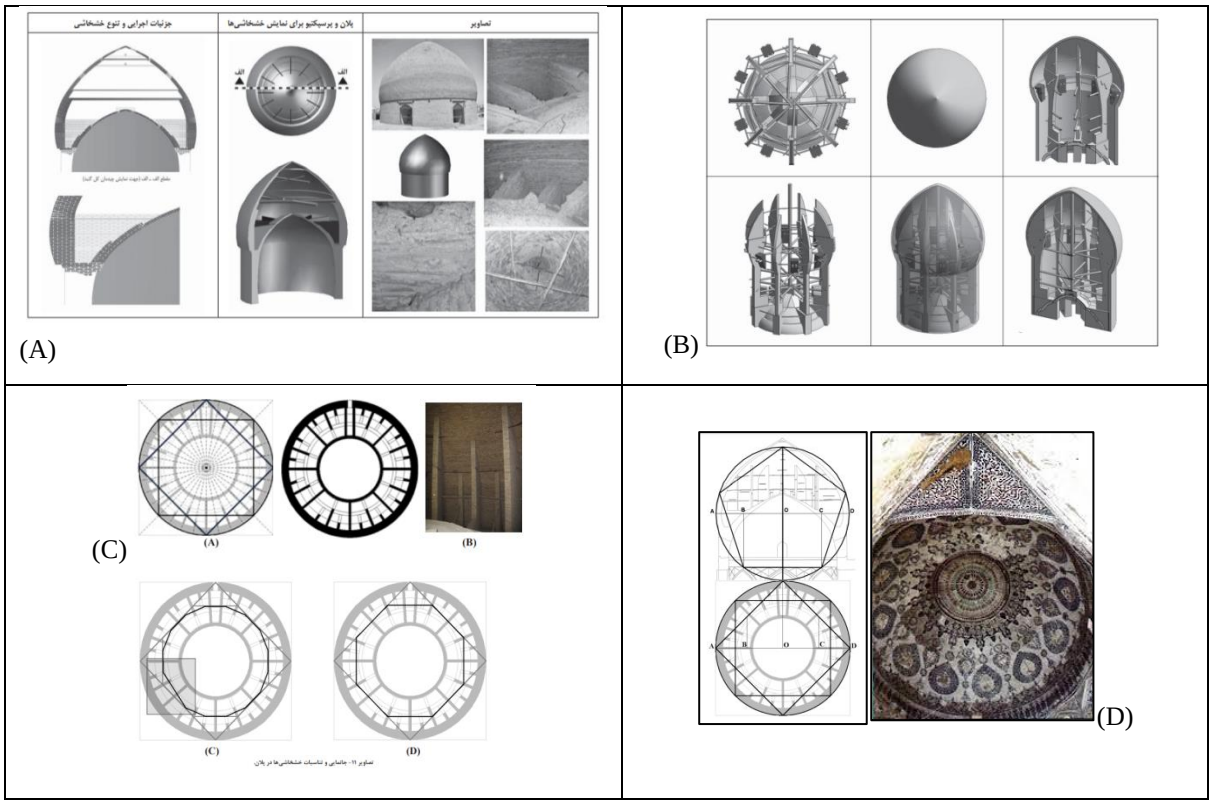
نمودار ۱. مروری بر خواص نانوتیوب‌های کربنی در اکتشافات فضایی (مأخذ: نگارندگان)

٤. تحلیل ساختار هندسی زیستگاه مریخی بر پایه گنبدسازی ایرانیان

هندسه به معنی دانش تعیین اندازه‌ها را می‌توان بن‌مایه پنهان و آشکار معماری دوره‌های مختلف دانست که از گذشته‌های دور هم از جنبهٔ نظری و هم از جنبهٔ عملی در ساخت بناها مورداستفاده قرار می‌گرفته است؛ زیرا یکی از مهم‌ترین زمینه‌های شناخت آثار تاریخی، پژوهش در هندسه و اشکال و دیگری هم چگونگی در انداختن این اشکال بر مصالح است. همچنین، با عنایت به اینکه دو آیتم تأثیرگذار بر میزان پایداری انرژی در ساختمان ساختار هندسی و

نوع مصالح هست، اهمیت تحقیق در اصول هندسی شکل‌دهندهٔ به اثر معماری را می‌توان یکی از زمینه‌های مهم برای پژوهش حاضر دانست. یکی از ساختارهای خاصی که معماران ایرانی تلاش‌های زیادی برای به‌وجودآوردن آن انجام داده‌اند گنبد نام دارد که از مهم‌ترین عناصر ساختمانی معماری ایرانی به‌شمار می‌رود. گنبدها از نظر فرم هندسی و تکنیک‌های ساخت دارای تنوع زیادی هستند. این گوناگونی و فراوانی و ناشناخته بودن جنبه‌های بسیاری از هندسه شکلی و تکنولوژی ساخت این بناها اهمیت بررسی و پژوهش در این موضوع را نشان می‌دهد. در فرم گنبدها برای امکان پذیرشدن اجرای گنبد با ارتفاع زیاد و دهانهٔ وسیع، نیاز بوده به مسئله با دقت پرداخته شود که لازمه آن داشتن توانمندی و دانش بسیار در طراحی است. (تصویر ۷)

نظم هندسی موجود در بنای تاریخی، رفتار مناسب سازه گنبدهای ایرانی و پایداری آنها در گذر زمان دلیلی است بر بینش آگاهانه استادکاران از اصول صحیح فنی و اجرایی که معماران سنتی از اشکال هندسی پایه برای آفرینش اثر معماری و برقراری تناسبات لازم میان اجزاء آن استفاده می‌کردند (فیض‌اله بیگی و همکاران،۹۸).



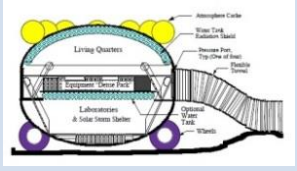
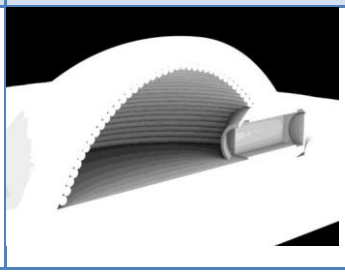
تصویر ۷. مدل‌سازی‌های ساختار هندسی گنبد و نمایش تناسبات هندسی در پلان و مقطع

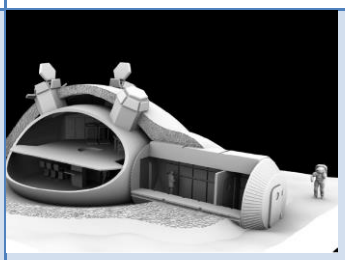
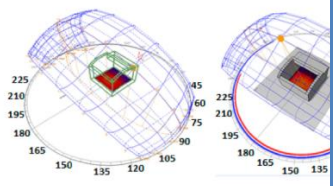
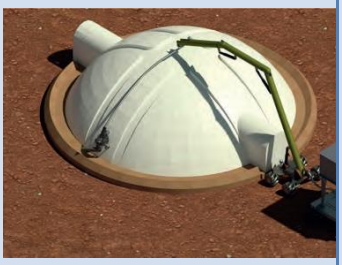
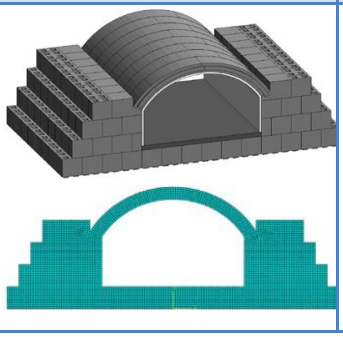
(A), (B) (مأخذ: رهروی پوده و همکاران،۹۹) (C), (D) (مأخذ: فیض اله بیگی و همکاران،۹۸)

باتوجه‌به پژوهش‌های انجام‌گرفته شده محققین تاکنون، تفاوت‌هایی از نظر شکل ظاهری و عناصر تشکیل‌دهنده و نیز طریق اجرای آنهاست که این عوامل باگذشت زمان و در طی ادوار گوناگون تکامل‌یافته است. نکته قابل‌ذکر در پژوهش حاضر این است که با علم به فناوریِ ساخت گنبد در تمامی نقاط ایران و جهان، و همچنین با مطالعه طرح‌های

پیشنهادی ارائه شده بر پایهٔ ساختار هندسی گنبد توسط محققین که در جدول ۳ به برخی از آن‌ها اشاره شده است، مطالعاتی تطبیقی بین نمونه‌های داخلی، به لحاظ اجرایی و ایستایی، با نمونه‌های پیشنهادی معماران فضایی برای زیستگاه‌هایی در مریخ انجام شد و در نهایت فرم تعمیم‌یافته‌ای از این ساختار هندسی بر پایهٔ گنبدسازی ایرانی در محیط نرم‌افزار اتوکد طراحی و سپس این مدل پیشنهادی در محیط نرم‌افزار فلوئنت برای تحلیل و بررسی آسایش زیستگاه مریخ شبیه‌سازی گردید. (تصاویر ۸ و ۹)

جدول ۳. مدل‌های پیشنهادی بر اساس هندسه گنبد و مصالح موجود در منطقه (In situ material) (مأخذ: نگارندگان)

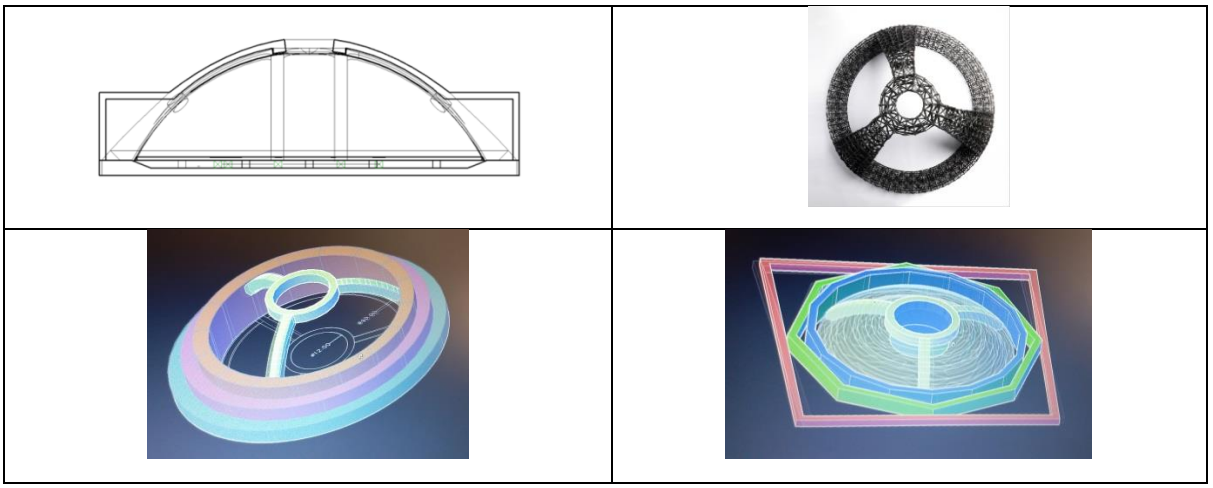
ردیف	پدیدآورنده (گان)	سال	تصویر طرح پیشنهادی	ویژگی‌های شاخص طرح
۱	Nader Khalili (Petrov,۲۰۰٤)	۱۹۸۴		در سال ۱۹۸۴ در سمینار پایگاه‌های مستقر در ماه و فعالیت‌های فضایی در قرن ۲۱ نادر خلیلی معمار ایرانی پیشنهاد خود را مبنی بر ساخت بناهایی روی ماه با الهام‌گرفتن از طرح معماری کویری و بر اساس ابر خشت‌ها ارائه کرد. طرح او متشکل از کیسه‌هایی کم‌وزن بود که از مصالح موجود در سطح ماه پر می‌شوند و سپس در مجاورت خورشید به پوششی یکپارچه تبدیل می‌شوند. این ایده در کنفرانس ناسا در آن سال بسیار موردتوجه واقع گردید.
۲	View A&M Prairie University (Cohen,۲۰۱٥)	۱۹۹۱		تصویری از یک زیستگاه با استفاده از رگولیت‌های موجود در سطح مریخ که ترکیبی از مفاهیم اولیه و قابل‌ساخت است و به‌عنوان اولین ایده‌های ناسا تاکنون قابل تکامل بوده است.
۳	Strategies for Mars interpretation of the Joosten, Weaver, and Duke Designed by Marc Cohen (Cohen,۲۰۱٥)	۱۹۹۶		طرح آزمایشگاه علمی مریخ به‌صورت پناهگاهی برای مقابله با طوفان خورشیدی شامل یک آزمایشگاه تأسیسات و یک آزمایشگاه کشاورزی است که در آن گیاهان در شرایط مریخ از جمله استفاده از سنگ برای خاک و تأمین آب از جو مریخ است. تونل‌های انعطاف‌پذیر تحت‌فشار بین ماژول‌ها در سطح «میان طبقه» هر زیستگاه را به هم متصل می‌کنند.
۴	Foster + Partners & ESA/ESTEC (Foster et al,۲۰۱۱)	۲۰۱۰		هدف از این مطالعه ارزیابی مفهوم فناوری چاپ سه‌بعدی به‌عنوان راهی بالقوه برای ساختن زیستگاه در ماه با استفاده از رگولیتهای قمری است . این کنسرسیوم دانش در توسعه فناوری فضایی، چاپ سه‌بعدی در مقیاس ساختمان، طراحی معماری پیچیده و روباتیک را ادغام می‌کند. در نهایت، دستورالعمل‌هایی برای فضاسازی و

				اتوماسیون چاپگر در آینده و طراحی و پرینت سه‌بعدی پاسگاه ترسیم می‌شود.
۵	Foster + Partners (Foster et al,۲۰۱۳)	۲۰۱۳		شرکت معماری "فاستر و شرکا"، با همکاری ESA (سازمان فضایی اروپا) با ایده جدیدی در سال ۲۰۱۳ با استفاده از یک پرینتر سه‌بعدی که کل سازه‌های آن با خاک قمری یک سازه توخالی بسته ساختند که می‌تواند از ساکنین در برابر تشعشع و ریز شهاب‌وارها (micrometeoroids) محافظت کنند.
۶	A. Jadeja, M.M. Jaiswal, S. Ghosh & P. Sanghavi (Jadeja et al,۲۰۱۵)	۲۰۱۵		این مقاله شبیه‌سازی‌های CFD را با مدل‌سازی معماری برای طراحی یک زندگی پایدار ترکیب می‌کند. نویسندگان با بررسی ویژگی‌های آب‌وهوای سیاره‌ای و پیش‌بینی نمودارهای تابش خورشیدی، دما و فشار، ضمن پیکره‌بندی ساختاری و طراحی سقف نورگیر با استفاده از آینه‌های حرارتی و بهره‌گیری از نرم‌افزار fluent به نتایج مثبتی جهت کاهش مصرف انرژی و نیل به اهداف پایداری در ساختمان می‌رسند.
۷	X-House & Apis Cor (www.spacearchitect.org)	۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹		پروژه MARS X-HOUSE برنده مسابقه چالش صدساله ناسا با عنوان طراحی مسکن برای مأموریت‌های طولانی‌مدت در سیاره‌ها با استفاده از تکنولوژی پیشرفته ساخت‌وساز با اولویت قراردادن ایمنی، افزونگی نیرو و رفاه حال خدمه در بالای سطح مریخ، درحالی‌که خدمه را به نور طبیعی و مناظر منظره مریخ متصل می‌کند، سعی می‌کند از استاندارد تابش فعلی فراتر رود. این زیستگاه عوامل اصلی طراحی را برای سکونت مریخ در آینده ایجاد می‌کند.
۸	Jian Fan, Chuan-Chang Yang, Elton J. Chen & Han-Bin Luo (Fan et al,۲۰۱۸)	۲۰۱۸		در این طرح با استفاده از بلوک‌های متشکل از سنگ‌های قمری در محل، ساختاری از یک زیستگاه ماه قابل‌نصب معرفی می‌شود. دیواره کناری و شالوده زیستگاه قمری توسط بلوک‌های مکعبی و سقف توسط بخش‌های قوسی با مفصل حرکتی ساخته می‌شود. پاسخ‌های ساختار زیستگاه تحت بارهای استاتیکی وزن و فشار هوای داخلی و تغییرات دما شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی برخی الزامات را در مورد طراحی ساختاری این زیستگاه به ما می‌دهد .

۵. تحلیل رفتار حرارتی طرح پیشنهادی بر پایه مدل‌سازی‌های نرم‌افزار CFD

۵/۱. ملاحظات طراحی در محیط اتوکد

در این مرحله همان‌طورکه پیش‌تر گفته شد، فرم اولیه پیشنهادی با الهام از تناسبات هندسی موجود در گنبدسازی ایرانیان (تناسبات چهار، هشت و شانزده‌بخشی خشخاشی گنبد) در محیط نرم‌افزار اتوکد مدل‌سازی گردید: (تصویر ۸)



تصویر ۸. مدل‌سازی‌های پیشنهادی در محیط نرم‌افزار اتوکد (مأخذ: نگارندگان)

۵/۲. ملاحظات طراحی در محیط نرم‌افزار فلوئنت

در این بخش از پژوهش، به شبیه‌سازی و آنالیز معماری سازه‌ای ساخته شده در مریخ می‌پردازیم. باتوجه‌به ملاحظات محیطی در مریخ، مقدار شتاب گرانش مریخ تقریباً یک‌سوم زمین و مقدار آن m/s^2 ۳.۷ هست. همچنین دمای هوای سطح مریخ مقدار تقریبی - ۶۰ درجه سلسیوس دارد. جنس سازه موردنظر ترکیبی از بتن مریخی تقویت شده با گرافن به همراه شیشه است. ازآنجاکه محققین ناسا با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط مدارگرد اکتشافی مریخ موفق به ردیابی رسوبات شیشه‌ای در سطح مریخ شده‌اند به‌گونه‌ای که شیشه برخوردی تحت‌تأثیر حرارت شدید ناشی از برخورد شهاب‌سنگ‌ها با سطح مریخ ایجاد شده است.

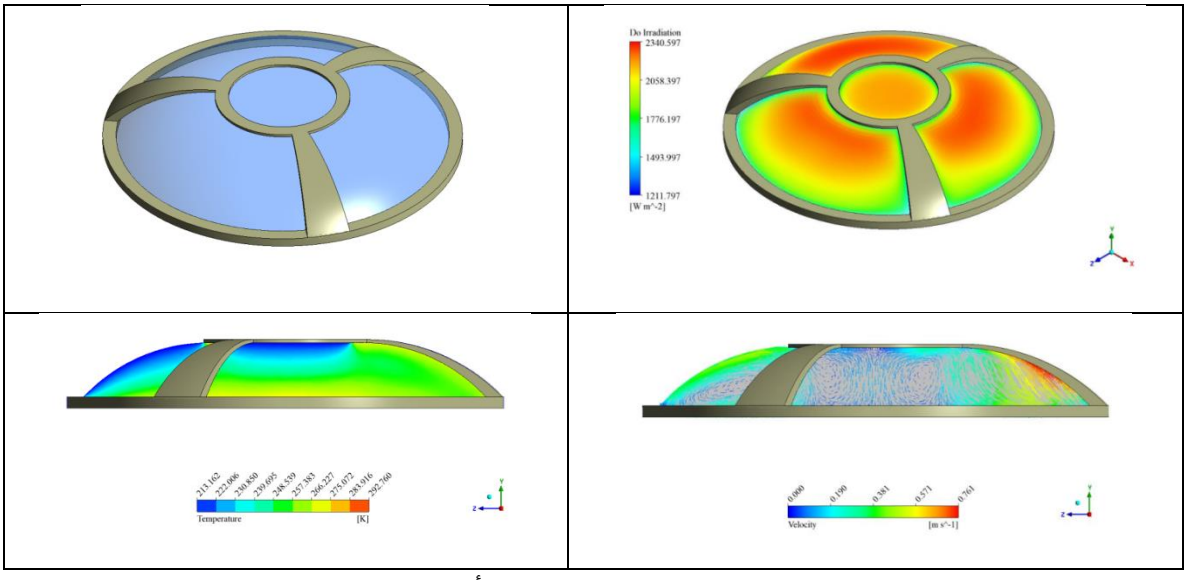
شیشه در طبیعت و زمانی شکل می‌گیرد که صخره ذوب شده با سرعت بسیار بالایی منجمد شود و اتم‌های متحرک در آن، وقت کافی برای صف‌آرایی در اشکال منظم را نداشته باشند و در این حالت اتم‌ها در جا منجمد شده و سطوح شیشه‌ای درخشان و سخت را خلق می‌کنند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند رسوبات شیشه‌ای در حفره‌های برخوردی مریخ پدیده‌ای بسیار رایج هستند و مناطقی که مملو از این رسوبات هستند می‌توانند به اهداف مطالعات آینده مریخی تبدیل شوند تا مسیر سفر انسان به مریخ در سال ۲۰۳۰ را هموار سازند(Cohen,۲۰۱۵) . با استفاده از شیشه‌های چندلایه به‌دنبال استفاده از انرژی خورشید برای تأمین شرایط دمایی مناسب داخل سازه هستیم. شایان‌ذکر است که مقدار تشعشع دریافتی مستقیم در سطح مریخ تقریباً w/m^2 ۵۹۰ است. در گام اول از شبیه‌سازی، تأثیر استفاده از لایه‌های شیشه و خلأ مورد بررسی قرار می‌گیرد. هندسه سازه در تصویر ۹ قابل‌مشاهده است.

شبیه‌سازی‌ها در سه حالت مختلف انجام شد: در حالت ۱، فقط از یک‌لایه شیشه به ضخامت ۳۰ cm استفاده شد. در حالت ۲، از دولایه شیشه و یک‌لایه ۳۰ cm خلأ در بین آن‌ها استفاده شده و در حالت سوم، تعداد کل لایه‌ها به ۵ می‌رسد. یعنی دولایه خلأ و سه‌لایه شیشه. انتقال حرارت تشعشعی، همرفتی و هدایتی در نظر گرفته شده است. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۴ قابل‌مشاهده است:

جدول ۴. مقایسه حالت‌های مختلف شبیه‌سازی CFD و تعدد لایه‌های شیشه و خلأ در سازه (مأخذ: نگارندگان)

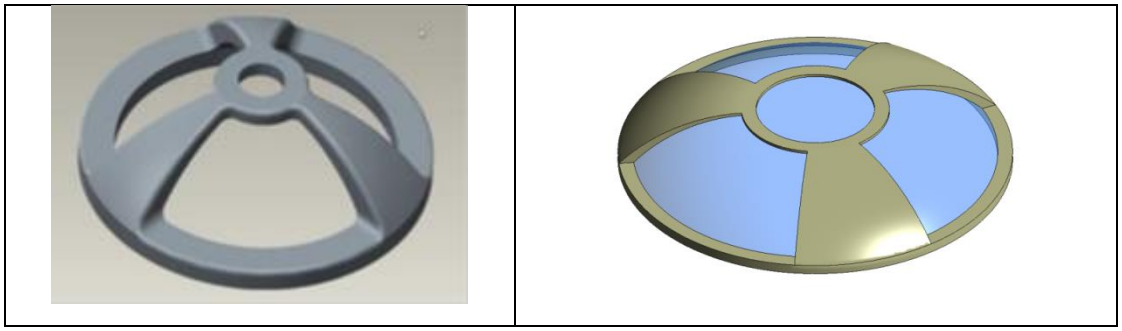
	تشعشع رسیده به کف سازه[4] (W/m^2)	دمای میانگین هوای داخل(C)
حالت ۱(۱ لایه)	۲۵۷۵	-۹/۳۳
حالت ۲(۳ لایه)	۲۳۴۳	-۱۳/۴۸
حالت ۳(۵ لایه)	۲۱۵۰	-۱۷

همان‌طورکه در جدول فوق مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد لایه‌های شیشه‌ای و خلأ، مقاومت در مسیر تشعشع خورشید بالا رفته و مقدار تشعشع کمتری به داخل می‌رسد. هدف اولیه استفاده از لایه‌های متعدد، جلوگیری از هدررفتن گرمای دریافتی از طریق مکانیزم همرفتی است، اما شرایط مسئله نشان می‌دهد که انتقال حرارت تشعشعی کاملاً بر دیگر مکانیزم‌ها غلبه کرده است. در نتیجه، بهترین عملکرد برای بالابردن دمای داخل، استفاده حداکثری از تشعشع خورشید است که باتوجه‌به نتایج، با کاهش تعداد لایه‌ها یا به عبارتی مقاومت در مسیر تابش، گرمای بیشتری دریافت شده که می‌تواند دمای محیط داخل سازه را به طور میانگین به ۱۰ - درجه سانتیگراد برساند. اگرچه این شرایط برای اقامت انسان‌ها مناسب نیست؛ اما باید توجه کرد که فقط با دریافت نور خورشید و بدون استفاده از روش‌های فعال مانند استفاده از گرماتاب تغییر دمای ۵۰ درجه‌ای را تجربه می‌کنیم. کانتورهای زیر از نتایج شبیه‌سازی استخراج شده است:



تصویر ۹. مدل‌سازی‌های محیط فلوئنت (مأخذ: نگارندگان)

پس از استخراج نتایج از گام اول و مشاهده تأثیر افزایش لایه‌ها، به سراغ افزایش سطح دیواره اصلی ساختمان می‌رویم. باتوجه‌به دخیل بودن مکانیزم‌های های مختلف انتقال حرارت در مسئله، نتایج قابل‌پیش‌بینی نمی‌باشد؛ زیرا با افزایش سطح دیواره‌ها، سطح شیشه‌ها که سطوح اصلی دریافت تشعشع از خورشید هستند کاهش می‌یابند؛ اما از طرف دیگر، تشعشع دریافتی سطح کم‌تری برای خروج و برگشت از داخل ساختمان را پیدا می‌کند (تصویر ۱۰). به عبارتی اکثر سطوح را دیواره‌های کدر تشکیل می‌دهند که امکان گذر تشعشع از آن‌ها نیست. هندسه سازه موردنظر در شکل زیر نمایش‌داده‌شده است:



تصویر ۱۰. مدل‌سازی‌های مرحله دوم در محیط فلوئنت (مأخذ: نگارندگان)

نتایج شبیه‌سازی در مرحله بعدی نشان می‌دهد که مقدار تشعشع دریافتی ۲۵۹۱ w/m^۲ هست و دمای میانگین داخل ساختمان به صفر درجه سلسیوس رسیده است. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که بیشینهٔ مقدار تشعشع دریافتی سازه از شیشه بالای آن است که دلیل آن هم موقعیت خورشید نسبت به مریخ است. از طرفی با افزایش سطح سازه بتن مریخی، تشعشع وارد شده موقعیت کم‌تری جهت خروج از دامنه دارد و اتلاف انرژی کم‌تر شده است. بنابراین در ادامه کار می‌توان نتیجه گرفت با افزایش سطح دیوار کدر و پوشانده شدن کل ساختار گنبد توسط لایه بتن مریخی می‌توان اتلاف انرژی را به حداقل میزان ممکن رسانید که جهت دستیابی به نتایج دقیق محاسباتی دراین‌خصوص و تعیین میزان انرژی لازم برای کسب آسایش حرارتی زیستگاه، استفاده از نرم‌افزار Design Builder پیشنهاد می‌گردد.

نمودار ۲. ارائه مدل مفهومی راهکارهای رفع چالش‌های موجود در طراحی سکونتگاه فضایی (مأخذ: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

تحقیقات زیادی در مورد سفر فضایی، اسکان فضایی و تمدن فضایی انجام شده است. آینده‌پژوهان، معماران و دانشمندان رشته‌های مختلف همگی دیدگاه‌های خود در مورد زندگی در فضا را با هم در میان گذاشته‌اند. معماری فضایی یک‌رشته نسبتاً جدید است که در آن این دیدگاه‌ها شامل ایده‌ها و تصوراتی درخصوص توضیح چگونگی زندگی و رفتار انسان‌ها در فضا می‌شوند. بااین‌وجود، اطلاعات مربوط به شرایط و محدودیت‌های فضای خارجی همراه با استدلال‌های معماری ارزشمند در نظر گرفته می‌شوند. برخلاف مأموریت‌های فضایی اولیه، مفاهیم آتی طراحی فضاپیما اساساً مبتنی بر ملزومات ساختاری و مهندسی نخواهد بود. انسان‌ها در اقدامات کاوش و پروازهای فضایی طولانی‌مدت در آینده، دست به کارهای حیاتی در سیستم خواهند زد. در نتیجه نیازها و ملزومات انسانی بایستی در کل معماری مأموریت و طراحی فضاپیما نشان داده شود. فاکتورهای انسانی می‌بایستی در هر مرحله از فرایند طراحی – باملاحظه این امر که افراد چیزی فراتر از «عناصر و المان‌های» سیستم بوده و اصلاح‌کننده و مبدع آن هستند – در نظر گرفته شوند. هدف از این سکونتگاه اولین به اثبات رساندن این مطلب است که قابلیت زیست‌پذیری روی مریخ دارای

محدودیت اساسی به‌خاطر ویژگی‌های منحصربه‌فرد مریخ از قبیل سطح گرانش پایین، نبود میدان مغناطیسی، سمی بودن خاک یا محیط تشعشع نمی‌باشد. این امر شامل فراهم‌آوردن کیفیت منطقی حیات با ریسک منطقی پایین برای خدمه و راه‌اندازی سیستم پایدار تأمین حیات مبتنی بر ساختار و مصالح مناسب می‌شود. در پاسخ به پرسش مطرح شده در مقدمه این پژوهش می‌توان گفت با فرض وجود زیرساخت‌های لازم برای زیست در مریخ، ساخت یک سکونتگاه دائمی با الهام از نمونه‌های پیشنهادی ارائه شده توسط آینده‌پژوهان و با بهره‌گیری از منابع موجود در سطح مریخ از جمله بتن مریخی و سنتز مصالحی مانند نانوتیوب‌های کربنی و گرافن جهت استحکام‌بخشی به سازه و با درنظرگرفتن الگوی بی‌نظیر ساختاری مشابه گنبدهای ایرانی و بهره‌مندی از انرژی خورشیدی با کمک شبیه‌سازی شرایط پیچیده اقلیمی در محیط فلوئنت می‌توان با کاهش اتلاف انرژی به الگوی مناسبی جهت سکونتگاه‌های پایدار مریخی دست‌یافت.

منابع و مآخذ:

مقالات

رهروی پوده، ساناز.؛ ولی بیگ، نیما و رحیمی آریایی، افروز. (۱۳۹۹). «تحلیل جزئیات هندسی و اجرایی در گنبدهای دوپوستهٔ گسستهٔ نارشاخص شهر اصفهان (نمونه‌های مطالعاتی: گنبدهای مسجد جامع عباسی، آرامگاه درب امام، مدرسه چهارباغ، و کلیسای بیت‌اللحم)، نشریه صفه، شماره ۷۳، صص: ۱۰۴-۸۶.

فیض‌اله بیگی، آرزو؛ گلابچی، محمود و رضازاده اردبیلی، مجتبی. (۱۳۹۸). «تحلیل هندسه نظری و عملی و تناسبات گنبد دوپوسته گسسته مسجد جامع عباسی اصفهان»، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی دوره ۲۴ شماره ۴ صص: ۴۸-۳۵.

هود، سیده دل‌افروز؛ محمودی زرندی، مهناز و کامیابی، سعید. (۱۳۹۹). «دستیابی به اصول طراحی نماهای دوپوسته با تأکید بر ایجاد تهویه دودکشی در اقلیم گرم و مرطوب»، فصلنامه علمی - پژوهشی نقش‌جهان، دوره ۱۰، شماره ۲.

منابع لاتین

Bogdahn,C., Breaum,A., Breum,H., Larsen,H & Løvenskjold,M. (۲۱۰۹). In-situ Habitat Design on Mars. Humanistisk-teknologi gruppe-nr: v۱۹۲٤۸۰۹٥۷٥.

Delgado,D.J. (۲۰۲۱). Applications of Architecture for Future Martian Habitats. AIAA Southeastern Regional Student Conference. April ٥-٦.

Petrov G.. (۲۰۰٤). "*A Permanent Settlement on Mars",* Master of Architecture Thesis at the Massachusetts Institute of Technology, February ۲۰۰٤.

Kent, L. (۲۰۱۹). What we now know (and still don't) about life on Mars. CNN. Retrieved from https://edition.cnn.com/۲۰۱۹/۱۲/۰٦/world/life-on-mars-evidencescn/index.html.

Van Alebeek, S. C. M. (۲۰۱٤). *Interstellar habitat: an architectural design of a habitat traveling through deep space*. (Author). ۳۱ Dec ۲۰۱٤.

M. Cohen, M.. (۲۰۱٥). Astrotecture, Palo Alto, CA, USA ۹٤۳۰٦, "*First Mars Habitat Architecture",* AIAA SPACE ۲۰۱٥ Conference and Exposition, ۳۱ Aug-۲ Sep ۲۰۱٥.

M.Cohen, Marc, "Being a spacearchitect, Courtesy of NASA, ۲۰۱٤, pp ۷۸-۸۰.

Zubrin, R., and Wagner, R.. (۱۹۹٦). *The Case for Mars: The plan to settle the Red planet and why we must*. Free Press.

Ferl, R.; Wheeler,R, Levine,H & Paul,A. (۲۰۰۲).*"Plants in space",* Current Opinion in Plant Biology ۲۰۰۲, ٥:۲٥۸–۲٦۳, © ۲۰۰۲ Elsevier Science Ltd. All rights reserved."Published online ۲۱ March ۲۰۰۲"

Haupilk-Meusburger, S. & Bannova, O. (۲۰۱٦). *"Space Architecture Education for Engineers and Architects Designing and Planning Beyond Earth*".

Griffin, Brand N. (۲۰۱۸). "*Step-by-step process for designing weightless space habitats",* Space Architecture Technical Committee (SATC).

Alhilal, A.; Braud, T & Camille; Hui, P. (۲۰۱۹).*" The Sky is NOT the Limit Anymore: Future Architecture of the Interplanetary Internet",* IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, v. ۳٤, (۸) , article number ۸۷۹۹۰٦۱, p. ۲۲-۳۲.

Bamford, R.A. " *How to create an artificial magnetosphere for Mars'',* ۰۹,۰۲۳ Received ۱۲ July ۲۰۲۱; Received in revised form ۷ September ۲۰۲۱; Accepted ۱٤ September ۲۰۲۱.

Kennedy, K. (۲۰۰۲). "*Lessons from TransHab: An Architects Experience*" AIAA Space Architecture Symposium, ۱۰-۱۱ October ۲۰۰۲, Houston, Texas, AIAA ۲۰۰۲-٦۱۰٥.

Henze, S. (۲۰۱۲). "*Module for Lunar Base Project, Command and Control Center*", Sasakawa International Center for Space Architecture, University of Houston College of Architecture.

Mackenzie, B. (۱۹۸۷). "*Building Mars Habitats Using Local Materials"* pg ٥۷٥ in The Case for Mars III: Strategies for Exploration. Stoker, Carol ed., American Astronautical Society: Science & Technology Series, V.۷٤.

Neumerkel,R.W.E.,Vecerdi,M., Meusburger,S.H. (۲۰۲۱). Design of an Autonomously Deployable Mars Habitat. ٥۰th International Conference on Environmental Systems. ۱۲-۱٥ July.

Praslova,V., Riabets,Y., Shchurova,V., Zinovieva,O.,Harbar,M. (۲۰۲۰). Functional Organization of extraterrestrial underground base on Mars. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Volume-۹ Issue-٥, March.

Sabu Th., Yves Grohens, Y. B. P., ۱st Edition ۲۰۱۹, *Industrial Applications of Nanomaterials*, Elsevier.

International Organization for Standardization (ISO), ۲۰۱٥. *Nanotechnologies–Vocabulary–Part 2: Nano-objects*. ISO/TS ۸۰۰۰٤-۲: ۲۰۱٥, Retrieved ۸ January ۲۰۱۸.

Tithi, K.N. (۲۰۱۷). Mars Habitation: Design for extreme condition. Ms Thesis. Miami University. http://hdl.handle.net/۲۳۷٤.MIA/٦۱٤٦

Von Braun, W., The Mars Project. Bechtle Verlag, ۱۹٥۲.

NASA. *Man-Systems Integration Standards*, NASA-STD-۳۰۰۰, Rev. B., ۱, ۱۹۹٥.

NASA. *Mars Reference Mission*. NASA Special publication ٦۱۰۷, ۱۹۹۲. Prairie View A&M University

Özdemir,K. (۲۰۲۰). Building a home in mars. Future, technology and architecture.NO ٤٥. PP ۳۹-٤٥. In Turkish.

Williams,M. (۲۰۱٥). "Mars compared to Earth", Universe Today corporate website, available at : www.universetoday.com/۲۲٦۰۳/mars-compared-to-earth/ (accessed ۱۱ February ۲۰۲۳).

Williams, D. R. (۲۰۱۸). "Mars Fact Sheet", National Space Science Data Center. NASA, NASA corporate website, available at : https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html (accessed ۱۰ □□□□□□□ ۲۰۲۳).

Cushing, G. E. (۲۰۱۲). "Candidate Cave Entrances on Mars." Journal of Cave and Karst Studies, ۷۴:۱,: ۳۳-۴۷.

Appelbaum, J., Flood,D.J. (۱۹۹۰). "Solar Radiation on Mars." Solar Energy, ٤٥:۱: ۳٥۳-۳٦۳

Cushing,G.E. et al. (۲۰۰۷). "Them is Observes Possible Cave Skylights on Mars." Geophysical Research Letters, ۳٤:۱, ۱۸.

Alamoudi,M.A., Doheim,R., and Mohammed,M.F.M. (۲۰۲۲). Humanizing Being on Mars: A Martian Colony. Civil Engineering and Architecture ۱۰(۳A): ۱۹-۲٦, DOI: ۱۰,۱۳۱۸۹/cea.۲۰۲۲,۱۰۱۳۰۳.

Chaplin, Joyce E. (۲۰۱۳). Round About the Earth: Circum navigation from Magellan to Orbit. (New York: Simon&Schuster (۳۶).

Vertika, Shukla & Kumar, N. (۲۰۲۰). Environmental Concerns and Sustainable Development, Volume ۲: Biodiversity, Soil and Waste Management.

Wan. Lin, Wendner. Roman, Cusatis. G. (۲۰۱۸).*" A Novel Material for In Situ Construction on Mars: Experiments and Numerical Simulations"*, Department of Civil and Environmental Engineering, McCormick School of Engineering and Applied Science, Evanston, Illinois ٦۰۲۰۸, USA.

Fana Jian, Yangb Chuan-Chang, Chena Elton J, Luoa Han-Bin, " *Preliminary structural analysis of a conceptual design for a small-scale erectable lunar habitat ",* CCC ۲۰۱۸ Proceedings of the Creative Construction Conference. (۲۰۱۸). Edited by: Miroslaw J. Skibniewski & Miklos Hajdu DOI ۱۰.۳۳۱۱/□□□۲۰۱۸-۰۲۶