ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

مجله علمی پژوهش در مهندسی عمران و معماری ایران (سال هفتم)
شماره ۲۶ / پاییز ۱۴۰۱ / ص ۴۸- ۳۴

طراحی معماری مسکن به منظور کاهش مصرف انرژی مصرفی و افزایش رضایت و آسایش ساکنین در سیاره مریخ (مطالعه موردی: خانه های یخی)

علیرضا جباری زاده‌گان[۱]، علی محمدپور[۲]

[۱] دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
[۲] دانشجوی رشته خلبانی، مرکز آموزش هوانوردی هما، تهران، ایران.

نام نویسنده مسئول:
علیرضا جباری زاده‌گان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

چکیده

به منظور کاهش مصرف انرژی مصرفی و افزایش رضایت و آسایش ساکنین، در طراحی این پروژه سعی در انطباق آن با محیط بوده و از طرق مختلف سعی در ایجاد این انطباق شده است. با استفاده از فرم های معماری متناسب محیط مانند فرم آئرودینامیک به منظور تطبیق با بادهای شدید مریخ، مصالح نانو به منظور کنترل دما و تشعشعات آن، سازه های مدولار به منظور سهولت در حمل و برپایی توسط روبات های سازنده که پیش از انسان و برای برپایی سکونتگاه به مریخ فرستاده می‌شوند و در عین حال توجه به سلامت جسمی و روانی ساکنین در انتخاب جنس و قابلیت‌های مصالح مانند ایجاد شفافیت نسبی و اجازه دادن به ورود نور طبیعی و مستقیم خورشید به محیط بدون مانع، این شرایط و انطباق پذیری فراهم گردیده است. با وجود سختی شرایط زندگی در مریخ و مخاطرات آن و همچنین محدودیت در منابع در دسترس باید از روشهایی برای بهره گیری از منابع موجود و کاهش اتلاف و یا کاهش مصرف انرژی استفاده کرد. به کمک معماری تطبیق پذیر و مواد و مصالح سازگار می‌توان از ساکنان در برابر شرایط سخت مریخ مانند اختلاف دما و سرمای زیاد و همچنین تشعشعات کیهانی محافظت کرد و علاوه بر آن ساختمان می‌تواند به خوبی خود را با شرایط موجود برای تأمین نیازهای روانی خدمه مانند دریافت نور طبیعی و دید به اطراف و ... تطبیق دهد. در این صورت تنها با انتخاب مواد و مصالح درست و حتی بدون تحمیل هزینه‌های اضافی و با توجه به نیازهای موجود، زیستگاه می‌تواند خود را با شرایط سخت و محدودیت‌های موجود انطباق داده و بر کیفیت شرایط زندگی و سطح آسایش جسمی‌و روانی بیفزاید.

واژگان کلیدی: معماری مسکن، مصرف انرژی، کیفیت زندگی، مریخ.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

مقدمه

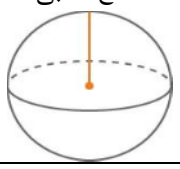
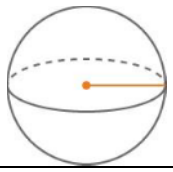
برای تأمین نیازهای نخستین افرادی که روی مریخ حضور می‌یابند، باید مصالح و لوازم مورد نیاز برای ساخت محل اقامت روی مریخ، نیز همراهاین پیشگامان به سطح مریخ منتقل شود. علاوه بر آن باید راهی برای کنترل تأثیر اختلاف زیاد دمای شبانه روز، و تأمین نیازهای اولیه مانند تأمین غذا، اکسیژن برای تنفس، آب آشامیدنی و لباس مناسب برای قرار گرفتن در معرض تشعشعات کیهانی و فشار جو مریخ یافت. لازم به ذکر است که اختلاف دمای شبانه روز بازهای از ۳۰ درجه در روز و گاهی در برخی نقاط تا ۱۴۰- درجه دارد. هر قدر ساکنان جدید مریخ بیشتر بتوانند نیازهای خود را به شکل مستقل تأمین کنند، افرادی دیگر از زمین به‌این سیاره ارسال و البته از حجم مواد و تجهیزات ارسالی از زمین نیز کاسته می‌شود. همچنین مصالح جدید برای ساخت سکونتگاهها پیشنهاد شده که سازگار با نیازهای محیطی و در جهت کاهش نیاز به انرژی و جرم حمل شده توسط فضاپیماها می‌باشد که به دلیل محدودیت‌های موجود، تأثیر چشم گیری بر موفقیت پروژه خواهد داشت. شرایط سکونت‌پذیری انسان بر سطح مریخ از تمامی‌دیگر سیارهها و هم‌چنین از ماه مناسب‌تر است. برای نمونه بر سطح سیاره عطارد نوسانات گرما و سرمای بسیار سختی وجود دارد، سطح ناهید علی رغم آنکه از نظر ترکیب بدنه، اندازه و گرانش (جاذبه) سطح شباهت‌های زیادی به زمین دارد ولی به مانند تنوری داغ است، و سیارههای مرزهای بیرونی سامانه خورشیدی و قمرهای آنها نیز در شرایط یخبندان شدید به‌سر میبرند (۱).

خارج از کره زمین، تنها بر فراز ابرهای پیرامون کره ناهید است که دانشمندان تاکنون مکانی سکونت‌پذیرتر از مریخ برای انسان یافته‌اند. از سوی دیگر برخی شرایط طبیعی آبوهوایی در برخی نقاط زمین با شرایط مریخ همسان است. در ماه مه ۱۹۶۱ افرادی با بالن هوایی به بالاترین مکانی که انسان با بالن صعود کرده یعنی ۳۴.۶۶۸متر صعود کردند و فشار هوایی که در آن ارتفاع ثبت شد در حدود همان فشار هوای موجود بر سطح مریخ است. سرمای شدید حاکم بر مناطق قطبی زمین نیز در همان محدوده دماهای شدید در مریخ قرار دارند. با توجه به اختلاف زیاد و قابل توجه دمای شبانه روز و امکان استفاده از انرژی خورشیدی و با بهره گیری از معماری واکنشی می‌توان انرژی گرمایی مورد نیاز برای ساکنین را فراهم کرده و با تمهیداتی از اتلاف آن جلوگیری کرد (۲).

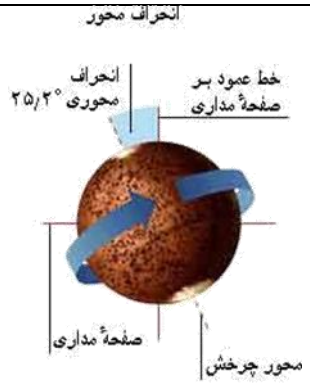
مقایسه زمین و مریخ

در جدول زیر به صورت مختصر به مقایسه خصوصیات زمین و مریخ پرداخته شده است:

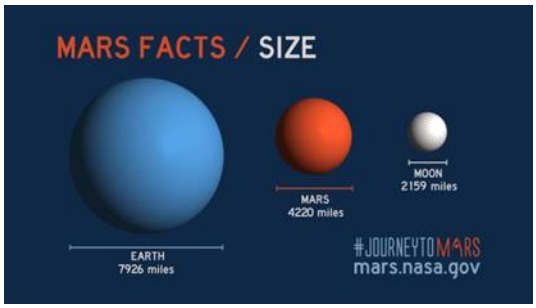
جدول ۱-۱. مقایسه خصوصیات زمین و مریخ (۲)

	زمین	مریخ
میانگین فاصله از خورشید	۱۴۹ میلیون کیلومتر	۲۲۷ میلیون کیلومتر(۱/۴۰۵ برابر زمین)
سرعت گردش به دور خورشید	۲۱۸،۱۰۷ کیلومتر بر ساعت	۶۷۷،۸۶ کیلومتر بر ساعت(۸۱٪ زمین)
شعاع قطبی 	۸/۶، ۳۵۶ کیلومتر	۲/۳، ۳۷۶ (تقریبا نصف (۵۳٪.۱)زمین)
شعاع استوا 	۱/۶، ۳۷۸ کیلومتر	۲/۳، ۳۹۶ کیلومتر (تقریبا نصف (۵۳/٪.۲)زمین)

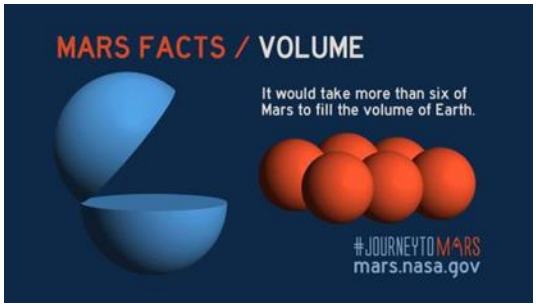
ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

انحراف از محور	۲۳/۵ درجه	 ۲۵/۲ درجه
طول سال	۳۶۵/۲۵ روز	۶۸۷ روز زمینی
طول روز	۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه	۲۴ ساعت و ۳۷ دقیقه
فصل‌ها		مانند زمین ۴ فصل بوده اما به خاطر اختلاف سرعت چرخش طول هر فصل تقریبا ۲برابر فصل‌های زمین است
دما	بطور متوسط ۵۷ فارنهایت	بطور متوسط ۸۱- فارنهایت
دمای سطح (حداقل / حداکثر نمونه)	۵۸ تا ۸۸- درجه سلسیوس	۳۰ تا ۱۴۰- درجه سلسیوس
تعداد قمرها	۱	۲
ابعاد متوسط شعاع	۶، ۳۷۱ کیلومتر	۳/۵، ۳۸۹ کیلومتر (تقریبا نصف زمین)
مساحت سطح	۵۱۰،۰۶۴،۴۷۱ کیلومتر مربع	۱۴۴،۳۷۱،۳۹۱ کیلومتر مربع (تقریبا ۲۸٪ زمین)
محیط خط استوا	۴۰.۰۷۵ کیلومتر	۲۱، ۳۳۹ کیلومتر (تقریبا نصف زمین)
گرانش سطح	۹/۸۰۶۶۵ متر بر مجذور ثانیه (۲/۶۶ برابر مریخ)	۳/۷۱ متر بر مجذور ثانیه (تقریبا ۳۸٪ زمین)
مواد موجود در سطح	پوسته و سطح: سنگ‌های آذرین منیزیم آهن، مانند بازالت گوشته: سنگ سیلیکاتی غنی از منیزیم و آهن هسته: آلیاژ آهن نیکل	پوسته و سطح: بیشتر شامل آهن غنی شده از بازالتیک، شبیه پوسته نازک زمین است گوشته: سنگ سیلیکات هسته: احتمالا یک هسته آهن، نیکل و هسته گوگرد، امااین که آیا مایعات داغ یا فلز سرد است شناخته شده نیست
مواد موجود در جو	۷۸٪/۰۹ نیتروژن ۲۰٪/۹۵ اکسیژن ۰٪/۹۳ آرگون ۰٪/۰۳۹ کربن دی اکسید و مقادیر کم از گازهای دیگر	۹۶٪ کربن دی اکسید ۱٪/۹۳ آرگون ۱٪/۸۹ نیتروژن ۰٪/۱۴۵ اکسیژن ۰٪/۰۱ کربن مونوکسید و مقادیر کم از گازهای دیگر

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir



شکل ۱-۱. مقایسه ابعاد زمین، مریخ و ماه (۲)



شکل ۱-۲. مقایسه حجم زمین و مریخ (۲)

مریخ در گذشته سیارهای خیس بوده، اما زمانی که آب انرژی کافی بدست آورد تبدیل به اکسیژن و هیدوژن شد. هیدروژن عنصری سبک است و از جو خارج شده و با گذشت زمان جو مریخ از بین رفت و اکسیژن که سنگین‌تر بود باقی ماند و باعث‌ایجاد اکسید آهن در خاک مریخ شد. نمای سرخ-نارنجی رنگ بهرام در اثر وجود آهن تری اکسید، که بیشتر به هماتیت یا زنگ آهن مشهور است، به وجود آمده است (۳).

ناسا در نشستی خبری در ۲۸ سپتامبر ۲۰۱۵ وجود آب در مریخ را تأیید و اعلام کرد که در ماههای گرم، آب جاری در این سیاره وجود دارد. عکس‌هایی از مریخ به زمین رسیده بود که در آنها به طور واضح دیده می‌شد که رگه‌های تیره روی یک سرازیری مریخ چگونه با فصل‌ها تغییر می‌کنند. این رگه‌ها با نام رگه‌های شیب خطی بازگشت کننده۱ در ماههای گرمتر تا پایین شیب‌ها هم کشیده می‌شوند ولی طی فصل‌های سردتر ناپدید بودند. دانشمندان ناسا اعلام کردند که رگه‌های تیره به طور حتم آب جاری هستند که در تابستان دیده شده و در زمستان مریخ محو می‌شوند. باید توجه داشت که آب کشف شده خالص نیست و نوعی نمک موجود در آن باعث می‌شود که این آب بتواند در دمای معمول ۵۰ درجه سلیوس زیر صفر مریخ جاری باشد، که این مسئله می‌تواند به معنای وجود نوعی حیات در مریخ باشد. نمک موجود در آب از نوع پرکلرات بوده که کلسیم پرکلرات به صورت جامد در همه جای مریخ یافت می‌شود. مصرف روزانه آن بسیار سمی‌و خطرناک اما مقدار کم آن مفید است. این نمک، آب موجود در هوا را می‌مکد و بعد از اشباع تبدیل به مایع خواهد شد. این ماده به دو صورت در مریخ به انسان کمک می‌کند. اولاینکه آب را آزاد می‌کند و فضانوردان می‌توانند برای مصارف مختلف از آن استفاده کنند. دومین چیزی که این ماده پس می‌دهد اکسیژن است. بنابراین‌این ماده به جای‌اینکه کشنده و سمی‌و مانع کشف مریخ باشد در واقع نوعی منبع برای فضانوردان بوده و در این اکتشاف به آنها کمک خواهد کرد (۴).

پژوهش در مهندسی عمران و معماری ایران، شماره ۲۶، پاییز ۱۴۰۱، ص ۴۸- ۳۴

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

تاریخچه سفر انسان به مریخ و سکونت در آن

جدول ۱-۲. روند شکل گیری و بهبود حضور انسان در فضا (۵)

سال	توضیحات
۱۹۵۰ و ۱۹۶۰	• پیشنهاد توسط ورنر فون براون و دیگران
۱۹۸۹	• آغاز اکتشاف فضا تحت مدیریت رئیس جمهور جورج بوش • بررسی‌ایده آپولو در مریخ توسط ولادیمیر گرین • هواپیمای آمریکای شمالی یک وسیله نقلیه قمری را پیشنهاد کرد که یک قطار از مدولها بر روی چرخهایی بود که در هر طرف به وسیله موتور کشیده یا فشرده میشد. این قطار بدون مسیر اولین‌ایده پایگاه متحرک بود.
۱۹۹۰	• تلاش همه جانبه ناسا برای اولین بار برای تفکر در مورد اکتشاف مریخ • مطالعه ۹۰ روزه شامل دو نوع زیستگاه: "زیستگاه اولیه" و "زیستگاه قابل ساخت" • ایجاد موج گستردهای از شور و شوق برای یک مأموریت انسانی سفر به مریخ • پروژه "مارس دیرکت" توسط رابرت زوبین، پرتاب مستقیم از زمین به مریخ، کوچکترین و مقرون به صرفه‌ترین‌ایده امکان پذیر • اتخاذ یک استراتژی طولانی مدت برای گسترش حضور احتمالی انسان فراتر از مدار زمین توسط ناسا و شرکای علمی و صنعتی آن. دو هدف اصلی در این دوره، بازگشت انسان به ماه و اقامت دائمی‌در آن و سپس به مریخ برای اکتشاف و اقامت. زیستگاههای ماه و مریخ اغلب مشابه هستند. • اجازه حمل و نقل به مدار مریخ و ایستگاهی در مدار مریخ برای وسایل ارسالی از زمین و بازگشت به زمین، توسط جوستن، ویور و دوک
۱۹۹۶	• بیانایده اکتشاف مریخ و سکونتگاه در مریخ، توسط امارت و استورک • ادغام اکتشاف و سکونتگاه منجر به‌ایده "استراتژی استقرار مریخ" شد که شامل چهار موضوع کلیدی: منطق طراحی مأموریت، فلسفه‌ایمنی، استراتژی مسکن و ارزیابی طراحی، می باشد.
۱۹۹۷	• اولین ماموریت مرجع طراحی مریخ ناسا که معمولا " ام دی آر ام" نامیده می‌شود. پایه و اساس برنامه ریزی انسان برای مریخ توسط ناسا است بوده و دارای قابلیت حمل بار از پیش مونتاژ شده و حمل اولین زیستگاه بود. • در الحاقات" ام دی‌آرام-۳" خدمه با همان زیستگاه که بعنوان زیستگاه زندگی در سطح مریخ خواهد بود به سمت آن پرواز خواهند کرد. • در دهه ۱۹۹۰محققان ناسا پروژههای شبیه سازی زیستگاه، مانند پروژه تحقیقات اکتشاف انسانی در بخش تحقیقات محیط کنترل شده در مرکز تحقیقات ایمز و مجتمع تحقیقاتی تداوم زندگی فضایی بازسازی بیولوژیک در مرکز فضایی جانسون را آغاز کردند. • یک پروژه شبیه سازی شده آزمایشی پشتیبانی زندگی ماه - مریخ در بخش فضایی جانسون به صورت محدود و با موفقیت، نصب و اجرا شد. • بلافاصله بعد از پروژه شبیه سازی شده آزمایشی پشتیبانی زندگی ماه - مریخ، مطالعات شبیه سازی درباره سفر اکتشافی و پایگاه های قطب جنوب به عنوان شبیه سازی سفر به مریخ و اکتشاف با موجی از استقبال مواجه شد. این‌ایدهها و تحقیقات میدانی اطلاعاتی را تهیه کرد که می‌تواند به طراحی سکونتگاه های مریخ کمک کند.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

۱۹۹۸	• روسیه اولین مدلایستگاه فضایی بین الملل را راهاندازی کرد. • پس از آن ناسا تلاش کرد تا عملکردی نظام مندتر و پروسه محور در رویکرد خود داشته باشد تا برنامه‌ها و سیستم‌ها و فناوری‌ها، قابل پیش بینی‌تر شود. • کوهن و کندی، به عنوان راهی برای سازمان دهی یک سیستم طبقه بندی شده برای انواع زیستگاه، نقشه راه برای ساخت و سازهای سطحی و ساختمانی در ماه و مریخ ارائه دادند. این برنامه شامل سه دسته اصلی زیستگاه می باشد که عباتند از: کلاس ۱: از پیش ادغام شده (به عنوان مثال، مدول آی‌اساس یا تونا کن) کلاس ۲: قابل گسترش (از جمله قابل ساخت، قابل گسترش، و متورم شونده) کلاس ۳: ساخته شده یا دستکاری شده با منابع محیطی. • طراحی سیستم‌های ماموریت هنوز نیاز به هماهنگی و ادغام با اهداف و استراتژی‌های علمی‌که دانشمندان شروع به بیان نمودند، داشت. این توجه جدید در دو جهت حرکت کرد: توسعه مفاهیم آزمایشگاه علمی در سطح، از جمله کارهای علمی‌که خدمه در مریخ انجام می‌دهند مانند اقدامات حفاظت از سیاره در برابر آلودگی و سیستم‌های ای‌وی‌ای برای کاوش پایدار دور از زیستگاه.
۲۰۰۳	• مسابقه، کریسول و رومل چندین نکته مهم در مورد نقش زیستگاه، عوامل انسانی و طراحی محیط کاری در ارتباط با حفاظت سیاره را مطرح می‌کند. • کلارک یک روش محافظه کارانه جایگزین "جداسازی عناصر و شیوه های محافظه کارانه" را پیشنهاد می‌کند که امکان استفاده حداقل برای فرود سری اول انسانها روی مریخ (یا ماه)، امکان جابجایی در وسایل حمل و نقل کوچکتر و متحرک را داشته باشد.ایده های جدا شدن عناصر، تقویت مدولار در مقیاس کوچک و افزایش تحرک در سطح ماه و یا مریخ. • ایده زیستگاه های متحرک شامل سه گروه قطارهای بارکش، پایگاههای متحرک و واگن قطار می‌شود: پروژه هابوت پایگاه متحرکی شامل چندین زیستگاه کوچک بوده که توسط جان مک کینز طراحی شد و به طور مستقل به یکدیگر متصل شده و یک پایگاه تشکیل می‌دهد، یا به طور مستقل به سمت یک سایت جدید حرکت می‌کند. در اسکات هاو از ساخت ربات زیستگاه در یک سطح پیشرفته تر، با چرخهای جفت غلتان نمایان با توانایی تخلیه بار و بارگیری‌های بزرگ مانند زیستگاه خود استفاده شده است. در میان پایگاههای متحرک، به نظر می‌رسد که دو پایگاه هابوت و واگن قطار بیشترین تأثیر را داشتند. استفاده از چرخها به جای پا - نشان دهنده تکامل سیستم متحرک هابوت است. در حال حاضر ناسا با "نسل دوم" اتلتس که مدول های کوچک زیستگاه را حمل می‌کنند، آزمایشات میدانی را انجام می‌دهد.
۲۰۰۸	• ناسا مسابقه‌ای برای طراحی "زیستگاه باحداقل کارکرد" را به مسابقه گذاشت.ایده کمترین عملکرد شامل کمترین اجزای تشکیل دهنده برای کارکردن در مواقعی که هیچ چیز درست پیش نرود، می‌باشد.
۲۰۰۹	• " ام دی‌آر ام-۵"، منتشر شده شامل یک چرخش مثبت و پیشرفت در مسیر درست زیستگاهها بود، شاید مهمترین پیشرفت آن ورود جامعه علمی مریخ است که منجر به تأکید بیشتر بر اهداف علمی مریخ می‌شود. در " ام دی‌آر ام-۵" ترجیح بر استراتژی "متحرک" شد که ترکیبی از راورهای تحت فشار با ایستگاه "زیستگاه یکپارچه" است. همچنین شامل بزرگترین پیشرفت، ارایه‌ایده زیستگاه چند بخشی می‌شود.
۲۰۱۰	• تمرینات موش صحرایی ناسا در سال ۲۰۱۰ یک رویکرد مصنوعی‌تر و پیچیدهتر برای طراحی زیستگاه و برنامه ریزی پایگاه قمری- مریخی ارائه داد. کریس کندی در این طرح واحد شبیه سازی زیستگاه را با زیستگاه های متحرک در قالب راورهای متحرک قمری ترکیب کرد.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

• ماموریت مارس وان شامل سکونت دائمی، حداکثر استفاده از منابع موجود در محل، تأمین تمام انرژی از خورشید، استخراج تکنولوژی‌های موجود در دسترس، ماموریت بین المللی می‌باشد. همچنین طبق ادعای مارس وان "برای تحقق بخشیدن به برنامه مأموریت، هیچ نیازی به تحول یا اختراع جدید نیست. هر مرحله از طرح مأموریت مارس وان از یکی از فناوری‌های موجود، معتبر و در دسترس استفاده می‌کند. "اگر چه مارس وان تمام معیارهای انتخاب را از لحاظ معماری ماموریت بزرگتر برآورده نکرده است، اما تأثیر عظیمی‌به همراه داشته و توجه زیادی را به خود جلب کرده است. مراحل ماموریت مارس وان به شرح زیر می‌باشد: اقدامات اولیه در سال ۲۰۱۸، قبل از استقرار ۲۰۲۰، زیستگاه پیش از استقرار ۲۰۲۲ الی ۲۰۲۳، حامل تک سرنشین ۲۰۲۴، حامل تک سرنشین ۲۰۲۵.(Do,2014)	

هدف از طراحی زیستگاه

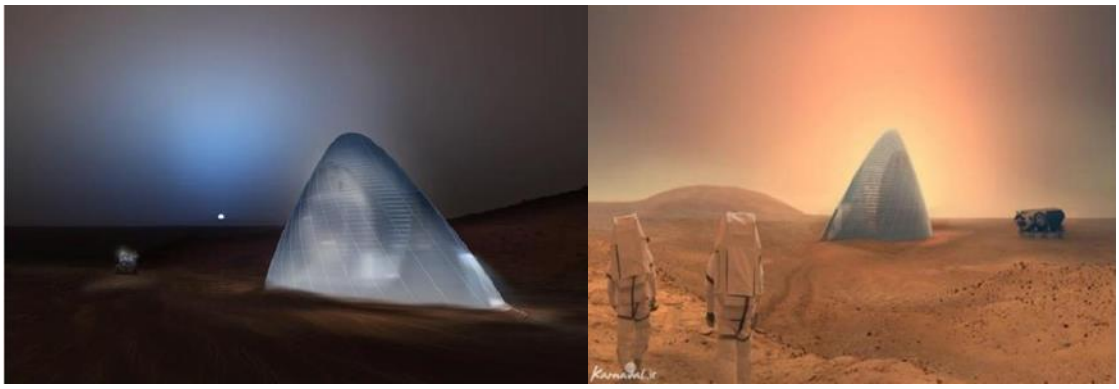
هدف از طراحی زیستگاه فضایی کاهش حجم و ابعاد سیستم‌ها برای رسیدن به فضای کافی برای تمام تجهیزات ضروری و یک چیدمان عملکردی می‌باشد که از سلامتی و بهره وری خدمه حمایت کند. اخیرا، ارزیابی‌های عینی بیشتر توانست از تغییرات طراحی گران قیمت جلوگیری کند که ممکن بود حجم ماشین آلات و قابلیت عملکردی را افزایش دهد. مثال، به حداقل رساندن حجم، به حداکثر رساندن زیستگاههای قابل سکونت متصل به هم، به حداکثر رساندن اجرای وظایف و به حداقل رساندن خطراتایمنی خدمه). زیستگاه های طراحی شده برای ماموریت‌های فضایی یا میان سیارهای، یک کار پیچیده و با محدودیت‌های بسیار با اهداف متناقض زیاد است. زیستگاه باید یک حجم زندگی مناسب برای مدت ماموریت و تمام عملکردها و مواد مصرفی مورد نیاز برای پشتیبانی از خدمه فراهم کند(مثلا یک فضای قابل تنفس، آب تمیز، غذا، محل خواب، ایستگاههای کاری برای پشتیبانی از وظایف خدمه و غیره). طراحان باید اطمینان حاصل کنند که تماماین سیستم‌ها را شامل می‌شوند و به درستی یکپارچه می‌شوند، در حالی که حجم و هزینه‌ها را به حداقل می‌رساند. این یک بحران است که اغلب زیستگاهها، بزرگ و دارای عناصر عظیم هستند که باید در مانورهای عملیاتی ماموریت برای پشتیبانی از خدمه به سختی جا داده شوند. این "نسبت تجهیزات" طراحی وسایل نقلیه فرود و مراحل پرتاب را هدایت می‌کند و اغلب هزینه‌ها و پیچیدگی‌های یک ماموریت را کنترل می‌کند. بنابراین، بهینه سازی طرحهای زیستگاه، جنبه مهمی‌در توسعه هر ماموریت اکتشافی فضایی انسان است (۶).

خانه‌های یخی مریخ: استفاده از تغییر فاز فیزیکی آب در سکونتگاه های ساخته شده با چاپگر سه بعدی[1]

از جمله نگرانی‌های اصلی در مورد اکتشاف طولانی مدت مریخ، سلامت خدمه است، از جمله کاهش قرار گرفتن در معرض تابش در سطح و همچنین سلامت روان برای ماموریت ۵۰۰ روزه و دو دوره ۱۸۰ روز در داخل محفظه (۷).

خانه یخی مریخ، متشکل از یک گروه بین رشته‌ای از متخصصان، بوسیله یک تیم معماران و طراحان رهبری می‌شود، که واکنشی جامع به‌ایده زیستگاه برای اشغال توسط انسان با بیشترین استفاده از مواد موجود در سیاره بود (با کمک فضاپیمای مکانیکی در هسته آن). پس از بررسی و تأمین نیازهای ضروری انسان، و الزامات زیستگاه برای استفاده از مواد موجود در محل جهت ساخت، که در برابر اشعه هم محافظت می‌کند، آسایش حرارتی، حجم مورد نیاز برای اقامتگاه انسان، و ایجاد فضاهایی برای جشن و استراحت جمعی برای پیشگامان و کاشفان مریخ مورد توجه است. بر اساس این الزامات و در دسترس بودن مواد، هیدروژن دی اکسید به عنوان یک ماده ساختمانی انتخاب شد (۸).

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

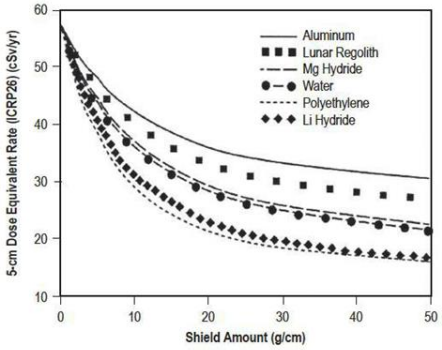


شکل ۱-۳. خانه یخی (۸)

در ناحیه‌ای از مریخ، میزان آب قابل توجهی به شکل‌یخِ دفن شده قرار دارد. حجم آب منجمد که در مریخ وجود دارد از دریاچه‌ی سوپریور[۲] در آمریکای شمالی که حجمی برابر با ۱۲ هزار کیلومتر مکعب دارد هم بیشتر است. همچنین مشابه‌این لایه یخی که‌اندازه آن کمی‌بزرگتر از وسعت‌ایالت نیومکزیکو است در ناحیه دیگری درشمالِ مریخ نهفته و با ۳ تا ۳۳ فوت (۱ تا ۱۰ متر) از خاک پوشیده شده است.

مسائل فنی و ساخت

بسیاری از ایده های معماری برای مریخ و دیگر سیارات، شامل نوعی ساخت و ساز زیرزمینی، یا محل سکونت تحت پوشش چند لایه رگولیت برای حفاظت از ساکنان از تشعشعات سطح است. اعتقاد براین است که یک پوشش سنگی با ضخامت ۵۰ سانتیمتر (با تراکم $5.1\ g/cm^3$) می‌تواند حفاظت لازم را فراهم کند و به عنوان مواد در دسترس و متداول در سطح، مواد خوبی است. بااین حال، مطالعات اخیر نشان می‌دهد حضور احتمالی پرکلرات[۱] در خاک مریخ، سمی‌شیمیایی برای انسان است که باعث اختلال عملکرد مناسب تیروئید با مهار جذب یونهای ید می‌شود. استفاده ازاین مواد در ساخت و ساز می‌تواند منجر به خطرات بالقوه شود، اگر به طور کامل از محیط داخلی جدا نشود، درنتیجه جستجوی مواد جایگزین برای زندگی بشر منطقی‌تر می‌باشد. به عنوان یک ماده با ظرفیت هیدروژن بالا، هیدروژن دی اکسید اغلب دارای قابلیت بالا برای محافظت در برابر تشعشعات زیاد است. مواد هیدروژنی با وزن اتمی‌کم به طور قابل توجهی بهتر از فلزات سنگین، برای محافظت از یونهای پر انرژی هستند (۷).

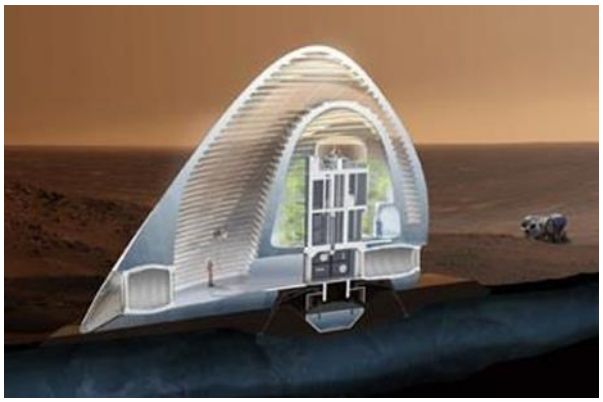


شکل ۱-۴. مقایسه ضخامت مورد نیاز سپر تابشی آب در مقابل سنگپوش ماه (۷)

در این شکل می‌توان دید که یک ضخامت ۲۰ سانتی متری آب محافظت مناسب را در برابر "جی‌سی‌آر[۱]"[۲] فراهم می‌کند که از نگرانی‌های اصلی است. این ضخامت، اگر در لایه‌های مختلف یک زیستگاه توزیع شود، قابلیت کافی بعنوان یک پناهگاه طوفان را دارد. خانه یخی مریخ، یخ را به ضخامت ۱۰سانتیمتر در یک لایه بیرونی و ۱۰ سانتیمتر در یک لایه داخلی توزیع

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

می‌کند تفاوت بین یخ و آب مایع برای حفاظت از تابش نیاز به مطالعه بیشتر دارد. استفاده از یخچال یخ به خاطر وضوح دید یخ و همچنین افزایش تراکم آن می‌باشد (۷).



شکل ۱-۵. مقطع عمودی از خانه یخی (۷)

طرح از نیازهای بالقوه انسان برای ورود نور به داخل و ایجاد ارتباط بصری با چشم انداز بیرون الهام گرفته، که به ذهن اجازه می‌دهد به خوبی بدن رشد کند و نیازهای روانی خدمه را هم فراهم کند. در حالیکه آزمایش‌های بسیاری برای یافتن جایگزین مصنوعی برای نور خورشید انجام شده تا رشته‌های بصری نوردهی طبیعی را تجربه کند، اما جایگزین‌های مصنوعی با نور خورشید یکسان نیست و یا توانایی تعادل سلامت ذهنی و جسمی‌خدمه را در مقایسه با آن ندارند. این زیستگاه با استفاده از محرکهای بصری، تغییر تصویر و تفکر، چشم اندازی از طریق اتصال بصری به بیرونایجاد می‌کند. روشهای ساخت و ساز فرصت‌هایی برای پیکربندی فضایی را فراهم می‌کند که یک نوع تسهیلات در فضای باز را در حالی که هنوز در محیط زیست تحت فشار قرار می‌گیردایجاد می‌کند. کار با آب در مریخ نیازمند دستکاری با تغییر فاز است. قرار گرفتن هیدروژن دی اکسید جامد در معرض جو مریخ منجر به تصاعد فوری آن می‌شود، زیرا فشار سطحی مریخ سه برابر (۶۱۰ پا) پائین‌تر از فشار هیدروژن دی اکسید است. با تکیه بر فیزیک تغییر فاز به جای تکنیک‌های دشوار معدن کاری، به دنبال راهی برای استخراج آن به صورت یک گاز بودهاند، به طوری که آن را تصفیه کرده و به صورت مایع ذخیره یا چاپ، و در نهایت به جامد تبدیل کنند. برای استخراج هیدروژن دی اکسید فیلتر شده از زیرزمین، بسته به عمق بستر یخ، که در بسیاری از موارد به نظر می‌رسد از ۲۰ سانتی متر تا ۱متر زیر زمین می‌رسد، می‌توان ۶ یخ جامد، برش داد و بدست آورد (۷).

البته ساخت و ساز با یخ روی زمین بدون سابقه نیست. علاوه بر سابقه فرهنگی طولانی مدت در قطب در استفاده از بلوکهای ضخیم برف برای عایق سازی، نمونه‌های مدرن ساختاری شامل پایکریت[1]، نوعی کامپوزیت که در سال ۱۹۴۲ با استفاده از یخ تقویت شده با فیبر چوب نیز ساخته شده، که بسیار شبیه بتن مسلح و با قدرت مشابه است. آزمایشات میدانی استفاده از گنبدهای یخ برای دهانه‌های تا ۲۰-۳۰ متر در ژاپن از سال ۱۹۹۹ انجام شده و سازههای پایکریت با پوشش بیش از ۳۰ متر در هلند ساخته شده است. در اواسط قرن هجدهم، معمار سوئیسی، هینزایزلر، ساختمانی با پوسته نازک با استفاده از یخ و پارچه ساخت که بارها در دانشگاهها مورد آزمایش قرار گرفت. شاید یک عامل رایج در سابقه مثالهای پیشین، موقتی بودن آنها در آب و هوای سخت است. وجود سرمای مداوم در سطح مریخ راه حل دائمی‌این مسئله است. سازگاری پیشینه‌های زمین درایده ساخت یک ساختار یخی در مریخ وجود دارد، که از جمله تقویت فیبرهای افزودنی سیلیکا (از مواد معدنی موجود در سطح و یا بازیافت چتر نجات فرود)، که تکنیک مورد استفاده در پایکریت (با استفاده از تقویت فیبر چوب) است، و تکنیک‌های سازگاری عایق کاری بوسیله ساخت و سازایگلوهای برفی الهام گرفته، می‌باشد. برای ساخت یک ساختار با یخ به صورت افزایشی باید از دو ابزار یکی برای جابجایی و دیگری برای چیدن مصالح روی هم استفاده کرد. چاپگرهای سنتی سه بعدی شامل محورهای سه بعدی حرکتی و ابزار چاپ طراحی شده (سر چاپ) برای یک ماده خاص است. توانایی کنترل محورهای سه بعدی، تا کنون چاپ را در محدودههای مشخص شده ممکن کرده است. بازوهای رباتیک محور حرکت را افزایش داده اند، اما بااین حال مقیاس ساخت اشیاء همچنان در

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

محدوده بازوی ربات باقی مانده است. ساخت مقیاس های بزرگتر نیاز به محدوده وسیعتری از محور و یا توانایی محورها (بازوی رباتیک یا سر چاپی) دارد تا خود را برای پوشش یک منطقه بزرگتر حرکت دهد (۸).

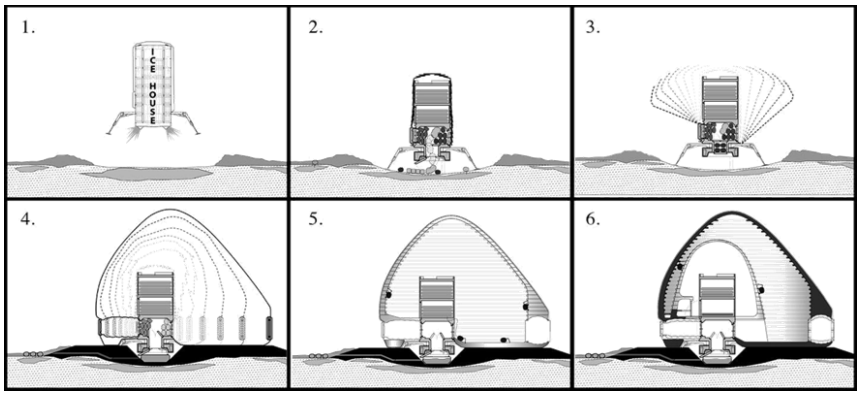
شکل ۱-۶. تصویر مفهومی خانه یخی مریخ تصویر یک (۷)

شکل ۱-۷. "- مینی بیلدر " ساخت و به طور همزمان صعود به دیوار در IAAC بعنوان پایه (۸)

شکل ۱-۸. ساختار نهایی چاپ سه بعدی یخ پس از ذوب مواد تقویت کننده از نمک (۹)

مکانیسم ساخت مصالح این فناوری شامل ذخیره سازی آب، مسلح سازی فیبر، استفاده از یک ابزار مفهومی‌برای بازسازی لایه یخ از طریق ذوب شدن سریع و انجماد دوباره برای رسیدن به وضوح یا شفافیت بیشتر در یخ، یک لایه عایق آئروژل و استفاده از مواد افزودنی است. تبدیل روش های فوق به‌ایده عملیات برای استقرار مستقل یا نیمه مستقل زیستگاه می‌تواند به شرح زیر استنباط شود. مرحله اول شامل‌ایده عملیات و استقرار، مرحله دوم فرود فرودگر به صورت عمودی، مرحله سوم و چهارم آزاد شدن از استخراج آب رباتیک، مرحله پنجم راه اندازی غشاء فشاری، مرحله ششم چاپ داخلی به کمک بالا رفتن ربات می‌باشد. (۷).

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir



شکل ۱-۹. مراحل ساخت غشاء توسط ربات فرودگر (۸)

معماری

درک مزایای مفهومی‌چاپ سه بعدی شامل امکان چاپ دیوارها، سقف‌ها و کف‌ها ساده نیست، اما در واقع تمام اشکال و فرمهای فضاهای خود را چاپ می‌کند، حجم داخلی یخ به عنوان یک مجموعه‌ای از فضاهای حفر شده از نظر مفهومی‌یا تخریب شده برنامه ریزی شده برای ایجاد دیوارها و تقسیمات فضایی زیستگاه است. خانه یخی مریخ به عنوان یک مجموعه از گنبدهای "توخالی" که به وسیله یک "ای‌تی‌اف ای[1]" شفاف یا غشای شبیه به آن محصور شده، در نظر گرفته شده است. این غشا یک مرز فشارایجاد می‌کند که از تبخیر یخ جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود رابطه چرخه‌ای بین تغییر و انتقال تولید اکسیژن و کربن دی اکسید وجود داشته باشد (۹).

از نظر حرارتی پوسته خارجی از فضای داخلی زیستگاه جدا شده، فضای اشغال شده توسط "حیاط جلو" کوچک در میان فضای پوسته بیرونی یک فضای خنثی حفاظت شده کاملا منحصر به فرد است که داخل یا بیرون نیست، و فضانوردان را قادر می‌سازد تا فضای بیرون را بدون آن که لباس شخصی "ای‌وی‌ای" را بپوشند، تجربه کنند. این فضای منطقه‌ای داخلی، یک تعریف جدید و آزادانه از زندگی فرازمینی را نشان می‌دهد که یکی از ویژگی‌های جدید و عجیب از زندگی در مریخ است. حیاط سفینه جایی بین یک پوسته ثانویه و نیمه مستقل یخی از پوسته بیرونی وجود دارد. افزایش محافظ پوسته دو لایه، فضایی بین غشا "ای‌تی‌اف ای" و سفینه ایجاد می‌کند که درحالی که یک مرز فشار معمولی را به اشتراک می‌گذارد، یک منطقه با دما و آرایش هوایی مشخص‌ایجاد می‌کند. لایه ثانویه یخ با عایق پوشیده شده و می‌تواند ضخیم‌تر و نازکتر شود تا بتواند شفافیت را کنترل کند، زیستگاه و پیکربندی داخلی را ایجاد کرده و همچنان قادر به سازگاری چاپ با هر تعداد از ساختارهای عملکردی و تنظیمات برنامه می‌باشد (۷).

سازه

همان طور که قبلا گفته شد، از نظر سازهای بیشترایدههای چاپ سه بعدی وابسته به یک حصار مکمل است که به عنوان یک مخزن فشار عمل کند. . مدلهای تحقیقاتی فشاری نشان میدهند که غشا قادر به حمایت از بار کلی است، و از یخ در برابر نیروی گرانشی پشتیبانی می‌کند. طراحی خانه یخی نه تنها قادر است وزن خود را تحمل کند، بلکه قادر به تحمل گرانش موجود در سطح طی فرایند رسوب نیز می‌باشد. دیوارها با ضخامت ۰.۶متر و تا ارتفاع ۶ سانتی متر، یخ به طور کامل خود را نگه می‌دارد (۸).

حرارت

در طراحی سازه ای با یخ، کنترل حرارتی زیستگاه داخلی و همچنین نگهداری از دماهای یخبندان برای حفظ یخ اهمیت ویژهای دارد. ایده پیچیده توصیف یک دیوار که بخشی از آن لایه‌های یخی در بیرون و دمای محیطی مریخ یا حداکثر بالای ۰ درجه سانتیگراد و بخشی در داخل با دمای داخلی اتاق ۲۰ درجه سانتیگراد باقی می‌مانند. پیش بینی شده است که فضای داخلی

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

به طور عمده از طریق سیستم‌های مکانیکی گرم خواهد شد، اما همچنین افزایش حرارت از گرمای محسوس و نهان ساکنان در داخل، و همچنین بخشی از گرمای خورشیدی از طریق ساختار شفاف نیز بهره خواهد برد. نیاز به خروج یا تابش گرما به بیرون بدون عبور از طریق دیوار یخی وجود خواهد داشت. سیستم تخلیه از طریق سفینه امکان پذیر است و مانند ذخیره گرمای حرارتی در واحدهای ذخیره سازی آب که برای مکانیسم چاپ در نظر گرفته شده، عمل می‌کند. برای متعادل کردن حرارت بین سفینه و مناطق قابل سکونت، گلخانه‌ای عمودی در اطراف هسته داخلی قرار دارد که قادر به جذب، و توزیع مجدد برخی از حرارتها به فضاهای مسکونی است. برای جلوگیری از انتقال گرما از مناطق قابل سکونت به لایه یخی، یک لایه آئروژل آبگریز نیمه شفاف با ضریب عبور نور ۶۶٪ بین پوسته‌ی یخ درونی و فضای برنامه زیری شده سکونت می‌تواند برای اطمینان از آسایش حرارتی استفاده شود. یک ماده متخلخل، با ۹۹.۸درصد فضای خالی بر حسب حجم، این مواد سبک وزن مکمل که از زمین فرستاده می‌شود، می‌تواند یک شکاف حرارتی کارآمدایجاد کند و همچنین شفافیت زیستگاه را حفظ کند (۷).

با توجه به ماهیت فضاهای چاپی سه بعدی، این لایه عایق نیز فرض می‌شود که سه بعدی چاپ شود. توانایی تولید آئروژل ها به طور مصنوعی در حال حاضر مورد بررسی قرار گرفته است و چندین آزمایش با آئروژل گرافین در دانشگاهایالتی کانزاس و دانشگاه بوفالو موفق بوده است. چنین لایه عایقی باعث دستیابی حجم داخلی به درجه حرارت قابل سکونت بدون ذوب شدن ساختار یخی می‌شود (۱۰)

نور

انتظار می‌رود شفافیت مواد به نور طبیعی خورشید اجازه ورود به سکونتگاه و دیده شدن بدهد، در مناطقی که یخ ضخیم‌تر است، حتی نور داخل دیوارههای دوبل را منعکس و تکثیر می‌کند. زیستگاه عمودی به منظور افزایش ناحیه نور مرئی است (۸).

شکل ۱-۱۰. خانه یخی (۹)

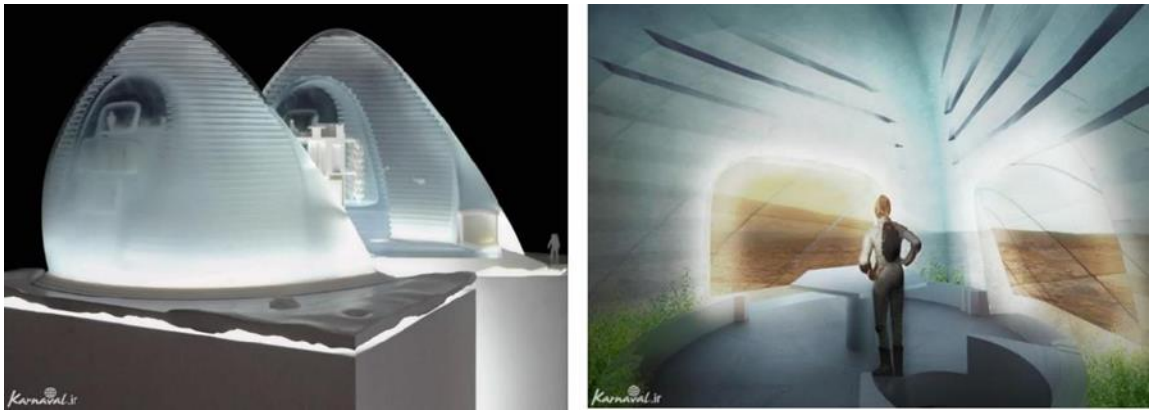
روند ساخت زیستگاه

سکونتگاه خانه یخی مریخ ارتباطی بین خدمات سخت افزاری مکانیکی است که در زمینی گسترش یافته مستقر شده و "فضا" توسط ساختاری با چاپ سه بعدی‌ایجاد شده است. سفینه فرود آمده به عنوان ستون فقرات مرکزی عمل می‌کند که از طریق آن تمامی‌خدمات شامل آب، برق، و "ای‌سی‌ال اس اس[1]" اجرا می‌شود و فضایی عملکردی برای راحت کردن زندگی فضایی انسان ها ایجاد می‌کند (۷).

- سفینه فرودآمده: فرودگر عمودی جانشین راهنمای احتمالی حمل و نقل خدمه بوده تا تطبیق خدمه با زندگی در سطح مریخ را آسان کند. طبقات انبوه زیستگاه، برنامه‌های اصلی را با فعالیت‌های داخل سفینه سازماندهی می‌کنند، و طیف وسیعی از فضاهای داخلی و خصوصی را به نمایش می‌گذارند. راندمان فضای داخلی مخزنهای ذخیره قابل توجهی را در پایه سفینه ایجاد می‌کند، که برای ساختن رباتها و همچنین چهار "ای‌سی‌الاساس" استفاده می‌شوند.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

- پل‌ها: هنگامی‌که سفینه، غشاء "ای‌تی‌اف ای" قابل انعطاف را می‌گستراند، پل‌های پیش ساخته از داخل سفینه باز می‌شوند و جابجایی‌ها برای برنامه‌های درج شده‌ایجاد می‌شود. یک پله مارپیچی در هسته سفینه شرایط رفت و آمد به سطوح بالاتر زیستگاه را ایجاد می‌کند.
- اتاق ها: شکل منحنی وار اتاقها یک توهم فضایی سایکلرومیک (چرخش ۳۶۰ درجه) را ایجاد می‌کند، باعث افزایش درک بی حد و مرز می‌شود و فضایی کوچک، بسیار بزرگ به نظر می‌رسد.
- پنجره ها: اگر چه زیستگاه نیمه شفاف است، هنوز هم تمایل به شفافیت واقعی وجود دارد. جایی که پوسته یخی نازک می‌شود، پنجره‌های بزرگ متورم شونده "ای‌تی‌افای" پر از گاز محافظ مناسب در برابر تشعشعات مانند هیدروژن یا هلیوم شده، بر حجم فضای قابل درک و محدوده قابل دید می‌افزایند. این ویژگی‌ها در کنار هم فرصت‌های اشتراکی و خصوصی برای تماشا و تفکر در چشم انداز فوق العاده مریخ.
- باغ داخلی: بین هسته سفینه و فضای داخلی یخی، گیاهان سبز زندگی ساکنان را احاطه کرده است. باغهای هیدروپونیک (به جای خاک در آب رشد می‌کنند) که به طور عمودی رشد می‌کنند، یکنواختی چشم انداز مریخ را مختل کرده، همچنین غذا و اکسیژن خدمه را نیز تکمیل می‌کنند. باغ ها رشد محصولات قابل تجدید را ممکن می‌سازند و قرار دادن آنها در بین مناطق برنامه‌ریزی شده، در طول فعالیت‌های روزمره برنامه‌ریزی شده، تماس خدمه را با زندگی گیاهی و رنگ‌های طبیعی به ارمغان می‌آورد. اثرات متنوع نور رنگی موجب بروز آسایش روانی و ذهنی خدمه می‌شود، و"حیاط" فضایی را در اختیار می‌گذارد که اکسیژن اضافی تولید شده آزاد شود (۹).



شکل ۱-۱۱. پنجره و چشم انداز خانه یخی (۱۰)

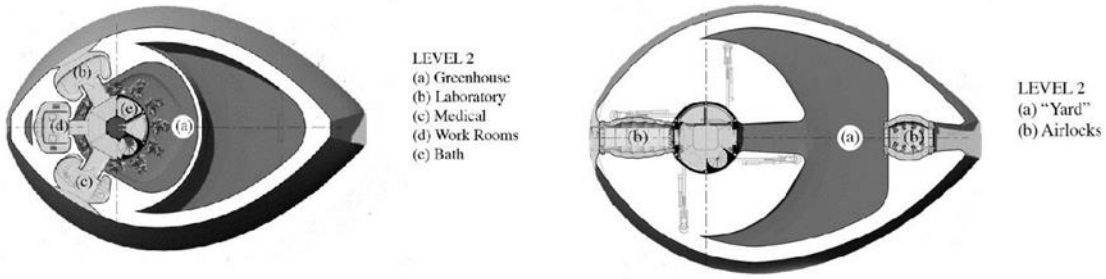
شکل ۱-۱۲. باغ داخلی خانه یخی (۱۱)

- حیاط: حیاط فضایی درونی بین گنبدها ایجاد می‌کند که در حالی که هنوز سرد و تحت فشار قرار گرفته است، اجازه می‌دهد تا بدون نیاز به لباس مخصوص "ای‌وی‌ای" آزادانه در محیط حرکت کنند. هدف معماری این بود که یک لایه

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

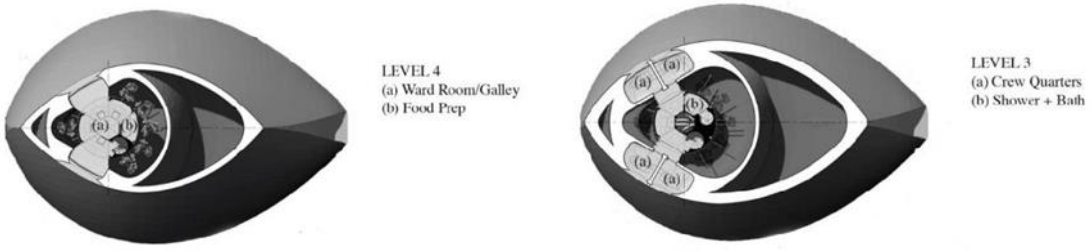
اضافه محافظ خارجی و تخلیه داخلی و سرریز را فراهم کند برای زمانی که بطور همزمان یک فضای الهام بخش انتزاعی‌ایجاد می‌کند که حجم قابل سکونت را گسترش می‌دهد.

- توزیع برنامه: اولین طبقه از زیستگاه شامل یک فضای آزمایشگاهی، یک مرکز پزشکی و ورزشی، و همچنین یک اتاق کوچک مدرن / مدیتیشن با محور شمالی است که دارای یک پنجره به بیرون است. طبقه دوم زیستگاه به مناطق ساحلی جنوب غربی و همچنین یکی از دو واحد بهداشتی اختصاص یافته است. اگر چه در طراحی ما هرکدام از خدمه از محفظه‌های فردی کامل با حریم خصوصی بصری و آکوستیک بهره می‌برند، اما طرحهای واحد به خودی خود انزوای خدمه را به وسیله‌ی اجتماعی سازی فضایی بین اعضای خدمه جبران می‌کنند. سومین و بالاترین طبقه شامل اتاق افسران با گنبد باز و میز مشترک واقع در مرکز آن، یک آشپزخانه با ارتفاع مشخص شامل آبدارخانه، سینک و محل تهیه غذا، به علاوه واحد بهداشتی ثانویه است. همچنین به فضانوردان پرتوی نور کامل ۳۶۰ فضای گنبدی شکل با چشم انداز وسیع می‌دهد (۱۱)



شکل ۱-۱۳. طبقه اول و دوم (۱۲)

,Morris)۲۰۱۶)



شکل ۱-۱۴. طبقه سوم و چهارم (۱۲)

نتیجه گیری

طراحی‌ایده خانه‌ی یخی مریخ قابلیت‌های مواد را نشان داد، اما همچنین یک روش طراحی بود که منجر به در نظر گرفتن امکانات و ایده های جدید برای اکتشاف فضایی انسان شد. به عنوان برنده نهایی در ناسا/ آمریکا تنها می‌توانید فرض کنید که اصالت و یا دیدگاه مفهوم به عنوان یک ارزش درک شده است. در ادامه به دنبال ایده هایی برای زیستگاه های انسانی، یک روش طراحی با ریشه در نگرانی‌های فنی، زیست محیطی و ساختاری در قالب یک مأموریت انسانی فراهم می‌کند که پیشنهاد روش های جدید برای طراحی روشها را ارائه می‌دهد. خانه‌ی یخی مریخ، یک موضوع بین رشته‌ای از متخصصان در موضوعات مختلف است که توسط معماران اداره می‌شود، همچنان به مبارزه با روشهای طراحی‌های سنتی با فیزیک پایه پرداخته، مجددا به نیازهای طراحی و سازماندهی پشت یک هدف منطبق با مأموریت انسان محور، می‌پردازد.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

منابع و مراجع

1. http://gltrs.grc.nasa.gov-2012-page5
2. https://mars.nasa.gov
3. https://www.ted.com-Anjali tripathi-2015
4. http://video -5.dalfak.com-Jim Green- Michael Meyer-2015
5. Cohen, Marc.M. Astrotecture. Alto, Palo, 2015, First Mars Habitat Architecture
6. Simon, M. Whitmire, A. Otto, MD, C. Neubek, D, 2011, Factors Impacting Habitable Volume Requirements: Results from the 2011 Habitable Volume Workshop.
7. Morris, Michael. Ciardullo, Christina. Lents, Kelsey. Montes, Jeffrey. Yashar, Melodie. Rudakevych, Ostap. Sono, Masa. Sono, Yuko, 10-14 July 2016, , Mars Ice House: Using the physics of phase change in 3D printing a habitat with H2O
8. https://www.karnaval.ir/house-ice-mars-lives-another-planet (پیمان بغدادی1395-page1-7)
9. https://www.zoomit.ir/2015/3/26/19013/in-mars-one-we-trust (سمیه حسین‌پور 1394-page1-11)
10. edu.nano.ir/paper/457(حسین سلیمی 2013-page2-3)
11. .https://www.zoomit.ir/2016/3/6/127774/carbon-nanotubes-radiation-protection/ (کاوه جهان آرای 1394-page1-2)
12. http://javanhavafaza.ir/17721/ (نریمان خالدیان 1396-page3)