|  |  |
| --- | --- |
| طراحی در محیط‌های منزوی، محبوس و شدید؛  سیاره‌ی سرخ  **سارا والی‌بلوچ1، ناصر ثبات‌ثانی2\*، اصغر عابدینی3،**   1. دانشجو ارشد، معماری، دانشکده‌ی معماری، شهرسازی و هنر دانشگاه ارومیه 2. استادیار، دکتری معماری، دانشکده‌ی معماری، شهرسازی و هنر دانشگاه ارومیه 3. استادیار، دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده‌ی معماری، شهرسازی و هنر دانشگاه ارومیه | |
| **Designing in Isolated, Confined and extreme environments**  **The Red Planet**  Sara Valibalouch 1, Naser Sabatsani \*2, Asghar Abedini 3   1. Department of architecture, Municipal or urban engineering and art, Urmia University, Urmia, Iran 2. Department of architecture, Municipal or urban engineering and art, Urmia University, Urmia, Iran 3. Department of architecture, Municipal or urban engineering and art, Urmia University, Urmia, Iran | |
|  | |
| \* n.sabatsani@urmia.ac.ir E-mail: ایمیل نویسنده مسئول | |
| **چکیده** |  |

محیط‌های منزوی، محبوس و سخت به محیط‌های اطلاق می‌شود که از نظر شرایط زیستی بقا به سختی در آن‌ها امکان‌پذیر است. نقاط بسیار سرد و گرم، محیط‌های اسیدی و بازی یا آلوده و سمی، کف اقیانوس‌ها، بالای کوه‌ها و در فشار کم جو، محیط‌های خارج از جو مانند مدار و یا سیارات دیگر، سازه‌های انسان‌ساز مانند کشتی‌ها، سکوهای نفتی، زیردریایی‌ها و غیره همگی در زمره‌ی این محیط‌ها شمرده می‌شود. انسان در طول تاریخ بارها تجربه‌ی رویارویی با بسیاری از این محیط‌ها را داشته، اما آغاز عصر اکتشافات جدید و باز شدن پای انسان به مکان‌هایی که تا کنون امکان حضور در آن را نداشت بحث در مورد آنکه انسان‌ها چگونه در این مکان‌ها زندگی کنند را به میان آورده است. بخشی از تحقیقات سازمان‌های فضایی و علوم رفتاری امروزه به بقا در این محیط‌ها از نظر فیزیکی و در سلامت نگه داشتن افراد از لحاظ جسمی و روانی اختصاص داده شده است. همانگونه که در زمین طراحی معماری برای بهبود زندگی انسان ایفای نقش کرده، خواهد توانست در فضا نیز به نجات انسان‌ها بیاید. معمارها خواهند توانست با مطالعه و تحقیق در رابطه با آنچه انسان از نظر روانی و جسمانی نیاز دارد محیطی را به وجود بیاورد که انسان با وجود شرایط سخت حداقلی از آسایش را در آن احساس کند. هدف اصلی این مطلب بررسی این اصول و تحقیقات و راه حل‌های احتمالی است.

**واژه­هاي کليدي**

محیط‌های منزوی، محبوس و سخت، اقلیم‌های سخت، طراحی در مریخ، اقامتگاه فضایی

**Abstract**

Isolated, confined, extreme environment usually refers to environments, which survival appear harder than usual in. Extremely cold or hot, acidic and basic or polluted, depth of oceans, high altitude with low pressure, outer space like low orbit or on planetary objects, manmade structures like ships, submarines, oil rings etc. all are considered as extreme environment for humans to live in. throughout history, there were several occasions in which humans had to face some of these extreme environment but with the arrival of the new age of expeditions, humans sat foot on places where they never experienced before. How humans supposed to survive and stay mentally and physically healthy in those places, is one of the main subjects in space and behavioral science these days. As architecture saved men on earth, it may come to rescue them on space. Architects could create an environment that is able to provide least of necessary comfort despite of the harsh environment outside, based on the knowledge the gain from researches and what humans really need to stay physically and mentally heathy. The main purpose of this paper is to survey these needs and find out the possible solutions.

**Keywords:**

Isolated, confined and extreme environment, extreme environments, design on mars, space habitats

**1- مقدمه**

انسان همواره در حال جدال با طبیعت پیرامون خود برای رسیدن به آسایش بوده است. با این وجود طبیعت با قوانین خود پیش می‌رود . در نقاطی شاید کوشش بیشتری نیاز باشد تا آن مکان را برای راحت زیستی بشر مهیا کرد. انسان از ابتدای تاریخ در دوران یخبندان‌ها و سپس عقب نشینی یخچال‌ها و ظهور بیابان‌ها و مناطق خشک دریافت که نمی‌تواند به ثبات طبیعت اطمینان کند. زیرا حتی در بهترین محیط‌ها نیز گهگاه شرایطی به وجود می‌آید که تلاشی سخت برای زنده ماندن را طلب می‌کند.

امروزه با باز شدن پای انسان به مناطقی که قبلا ورود به آن غیرضروری یا غیرممکن بوده است نیازهای جدیدی پدید آمده است که در گذشته وجود نداشت. علم محیط‌های منزوی، محصور و سخت یا ICE، مبحثی جدید در حال شکل گیری در علومی چون روانشناسی، پزشکی، و البته طراحی و معماری است که در پاسخ به این نیاز به وجود آمده است (Bassingthwaighte , 2017) .

"محیط با شرایط سخت به هرگونه محیطی گفته می‌شود که حیات در آن به گونه ی شناخته شده به سختی امکان پذیر باشد و شامل محیط‌های سیاره‌ی زمین و خارج از جو زمین می‌شود. محیط‌های قلیایی یا اسیدی، رادیواکتیو، شدیدا سرد مانند مناطق سیبری و قطب ها، شدیدا گرم مانند بیابان ها، دارای فشار اتمسفر زیاد مانند اعماق دریاها یا فشار اتمسفرکم مانند نقاط مرتفع در کوه ها، محیط‌های بدون آب و اکسیژن مانند نقاط بیرون از جو و فضا و هرگونه محیطی انسان ساز و جایگزین محیط طبیعی شده است" (Bell , 2012) . طراحی در این محیط‌ها شاخه‌ای تازه در علم معماری است که گرچه ریشه‌ای دیرین دارد اما به مدد تکنولوژی های جدید ساخت و طراحی دوباره جانی تازه گرفته است.

مرحله ی بعد از مریخ نوردانی که به مریخ فرستاده شده اند ، دانشمندانی هستند که برای تحقیقات بیشتر پا به خاک این سیاره ی سرخ خواهند گذاشت . بعضی از این تحقیقات ممکن است مدت زمان زیادی طول بکشد و این افراد نیاز به فضایی امن دارند که در مدت اقامتشان ، آسایش آنان را تامین کنند و در آینده مکانی برای استقرار انسان در این سیاره باش بخصوص که در سال های اخیر بحث توریست های فضایی مطرح شده است که برای استفاده های تفریحی و اسکان های موقت این سفر را آغاز می کنند

سیاره ی مریخ به طور اختصاصی محیط و سایت مورد نظر در این پژوهش و طراحی خواهد بود. مریخ در میان سیارات منظومه‌ی شمسی بهترین موقعیت را دارد. این سیاره مانند عطارد زیاد به خورشید نزدیک نیست و مانند زهره جو اسیدی ندارد، برعکس سیاراتی چون مشتری و زحل سطحش جامد بوده و قابل نشستن است. گرچه همچنان با محیطی متفاوت از سطح زمین رو به رو خواهیم بود. جو سیاره رقیق تر از سطح زمین است. با وجود آنکه جاذبه اش کمتر از نصف جاذبه ی زمین است افراد پدیده‌ی ریزگرانش را بر سطح مریخ تجربه نخواهند کرد . احتمال وجود آب مایع در این سیاره پتانسیل‌های زیادی برای زندگی انسان در آینده ارائه می‌دهد (Bassingthwaighte , 2017) . از بزرگترین موانع تحقق چنین رویایی وجود مسافت زیاد با زمین است که نیازمند طرحی خواهد بود که بتواند امکاناتی چون تصفیه آب و هوا و بسیاری دیگر را برای مهیا کردن تسهیلات مورد نیاز تا مدت طولانی فراهم نماید

تصور می شود مطالعات این چنینی فقط در محدوده ی خود کاربرد داشته باشد اما در حقیقت بسیاری از امکانات ، دانش و وسایلی که هم اکنون در زندگی خود استفاده می کنیم ابتدا در سازمان های فضایی و برای تحقیقات خارج از جو طراحی و ساخته شده اند . علوم مربوط به نجوم و مهندسی های سازمان های فضایی بر روی زمین نیز بسیار مفید عمل می کنند نمونه ی این کاربرد ها را می توان هرروزه در سنسور های دوربین های دیجیتال اسمارت فون ها ، شیشه های ضدخش عینک ها ، سمعک ها ،عایق ها و فوم هایی که در ساخت خانه ها مورد استفاده است و بسیاری موارد دیگر مشاهده کرد . ارتش و سازمان های فضایی در تعامل هرروزه با یکدیگراند . این دو نهاد دائما از تکنولوژی های یکدیگر استفاده می کنند . تکنولوژی اسکان در اقلیم ها و شرایط سخت می تواند بسیار مورد توجه ارتش باشد . برتری ارتش ها نه به تعداد نفرات بلکه به تکنولوژی مورد استفاده شان بخصوص تکنولوژی غیر تسلیحاتی است که در اختیار دارند .

آنچه که برای دوام آوردن بشر در شرایط سخت طراحی می شود می تواند در زندگی روزمره جهت آسایش بیشتر انسان استفاده شود . طراحی در شرایط سخت علاوه بر اینکه به تکنیک هایی دست پیدا می کند که در معماری روزمره به اجرای هرچه راحت تر طرح ها کمک می کند ؛ برای بحث هایی چون سبک سازی ، مقاوم سازی ، طراحی در زمین محدود ، بحث های تنظیم شرایط محیطی و ... راه حل های جدید ارائه می دهد . محدودیت های ساخته شده در ذهن معماران را از بین می برد و آن ها را به سمت چالش های جدید هدایت می کند

**2- اقلیمهای منزوی، محبوس و سخت**

محیط‌های ICE, (Isolated, Confined, extreme) چالش برانگیزترین محیط‌ها برای ادامه‌ی بقا بوده اما می‌تواند فواید علمی و اقتصادی فراوانی برای کسانی که در آن محیط‌ها زندگی می‌کنند به همراه داشته باشد." (Bassingthwaighte , 2017) بسیاری از منابع طبیعی در محیط‌هایی قرار دارد که به صورت طبیعی برای انسان‌ها شرایط محیطی مناسب زندگی را فراهم نمی‌کنند. اقلیم‌های سخت به هر اقلیم دارای شرایط نامناسب برای زندگی انسان گفته می‌شود." بنابراین هرگونه محیط دارای گرما، سرما، رطوبت، خشکی‌ شدید، خالی از اکسیژن، آلوده و غیره که انسان خارج از محدوده‌ی تحمل انسان باشد در حیطه‌ی اقلیم‌های شدید قرار می‌گیرد. این نام بر روی محیط‌هایی گذاشته می‌شود"(Bell, 2015) که در همه‌ی زمان‌ها دارای شرایط غیر قابل زیست بوده و شامل محیط‌هایی که به صورت دوره‌ای شرایط شرایط برای زندگی انسان افت می‌کند مانند مناطق گرمسیری و سردسیری که در برخی از روز‌های سال دمایی بالاتر یا پایین‌تر از آسایش انسان داشته و در باقی فصول سال برای زندگی مساعد هستند، نمی‌شود. این اصطلاح در علوم، روانشناسی بر رفتار در این محیط‌ها، در جامعه شناسی به مناسبات حاکم و در علوم زیستی به تنوع و بقای گونه‌های زیستی می‌پردازد.

انواع محیط‌‌های ICE را می‌توان به دو صورت تعریف کرد. یکی از ابتدایی‌ترین این تعریف‌ها، تعریف مشخصه‌های فیزیکی است که قرارگیری آن‌ها در شرایطی مشخص محیط را از نظر اقلیمی و زیستی محیطی سخت می‌سازد. این تعریف بیشتر در علوم زیستی کاربرد دارد. در تعریف زیستی فقط ادامه‌ی بقا و فراهم آمدن شرایط مساعد فیزیکی مد نظر است. در حالتی که انسان در بحث مداخله ‌کند تعاریف اندکی پیچیده‌تر می‌شوند چرا که بحث‌‌های روانشناسی و جامعه‌شناسی نیز مطرح می‌شود. در رابطه با انسان تنها بقا اهمیت پیدا نمی‌کند چرا که اثرات روحی و روانی که بر انسان‌های حاضر در آن محیط نیز می‌گذارد حائز اهمیت است.

**2-1- مریخ**

"مریخ 4امین سیاره منظومه‌ی شمسی از زیرمجموعه‌ی سیارات سنگی و زبرین است که بعد از زمین در فاصله‌ی میانگین 228,000,000 کیلومتری در مدت 687 روز با میانگین سرعت 24 کیلومتر بر ثانیه به دور خورشید می گردد. این سیاره در کمترین حالت در فاصله ی تقریبی 56,000,000 کیلوتری و در بیشترین در فاصله‌ی 397,000,000 کیلومتری زمین قرار می گیرد. سیاره‌ی مریخ در مدار خود به اندازه ی 09/0 در مدار گردش خود به دور خورشید انحراف دارد.

قطر سیاره‌ی مریخ در نقاط استوایی که بیشترین قطر کره‌ی سیاره ست؛ 6,790 کیلومتر دو در نقاط قطبی که کمترین است؛ 6,760 کیلومتر براورد شده است که تقریبا نصف قطر کروی زمین است. حجم کلی سیاره 15/0 حجم زمین و جرم آن 108/0 جرم زمین می باشد و چگالی به اندازه‌ی 7/0 چگالی زمین دارد. شتاب گرانشی سیاره 38/0 زمین یعنی به مقدار 711/3 متربرثانیه بوده و سرعت گریز از گرانش آن 1/5 متر بر ثانیه است. دوره‌ی تناوب سیاره 24 ساعت و 37 دقیقه 6/32 ثانیه است که بسیار مشابه زمین است و زاویه‌ی انحراف مدار گردش این سیاره به دور خود 2/25 درجه است که حدودا دو درجه با زمین تفاوت دارد"(دالکی، 1385) (جدول 1)

**جدول1: مقایسه‌ی سیاره ی زمین و مریخ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ویژگی | زمین | مریخ | مقایسه |
| فاصله از خوشید(متوسط فاصله)(Km) | Km 149،567,891 | Km 227,936,637 | با فاصله‌ی 7,833,874 کیلومتر دورتر از خورشید، نور کاهش پیدا می‌کند. |
| قطر(متوسط)(Km) | Km 12,756 | Km 6,787 | مریخ از زمین کوچکتر است.  (حدود نیمی از سایز زمین) |
| ترکیبات جو | N2 77%  O2 21%  Ar 1%  CO2 0.4% | CO2 95%  N2 3%  Ar 1.6%  O2 0.1%  بخار آب 0.03% | میزان کمی از اکسیژن در جو مریخ وجود دارد |
| فشار جو (پاسکال Pa- اتمسفیر Atm) | Pa 101,325  Atm 1 | Pa 600  Atm 006/0 | فشار جو در زمین بسیار بیشتر است |
| دمای متوسط () | 14 | 63- | مریخ بسیار سردتر از زمین است |
| طول روز(ساعت) | 24ساعت | 24 ساعت و 7 دقیقه | مشابه |
| مدت گردش به دور خورشید(طول سال) | 365 روز زمینی | 687 روز زمینی | تقریبا دو برابر زمین |
| دسترسی آب | مایع و زیاد | یخ، به میزان کم | آب به صورت مایع در سطح مریخ وجود ندارد. |
| جاذبه | 66/2 برابر مریخ | 375/0 برابر زمین | جاذبه |

**3- ملاحضات روانشناختی و جامعه شناختی**

**3-1- روانشناسی**

"سلامت روانی عموما تحت تاثیر عوامل قابل پیش‌بینی می‌باشد، با وجود آنکه ذهن هرکس به میزان متفاوتی تاثیر می‌گیرد، اکثر ساکنان محیط در طول زمان تحت تاثیر مسائل منفی روانی مانند افسردگی یا گریز از اجتماع شده که با تجربه‌ی بیشتر هر فرد از محیط بدتر می‌شود. برای مثال اگر شخصی بعد از ترک اجتماع خود غم غربت را تجربه کند در محیط‌های ICE با توجه به عکس‌العمل‌های روانی مختلف افراد به دو سه ماه یا کمتر تغییر می‌کند.

نیاز به در نظر گرفتن روانشناسی محیط در طراحی مختلف بوده و وابستگی آن به کیفیت به جای کمیت می‌تواند در لحظه تعریف دقیق آن‌ها مشکل باشد. به صورت کلی افرادی که از نظر روانی باثبات‌تر باشند قادر خواهند بود تا کار باکیفیت‌تری ارائه دهند، سالم‌تر بمانند و از محیط خطرناک اطراف خود آگاه‌تر بوده و خود را راحت‌تر با آن تطبیق دهند. همچنین نوعی که ما یک محیط را تجربه می‌کنیم از مولفه‌های محیط مهم‌تر است. این بدان معناست که طراحی که در آن روانشناسی لحاظ شده باشد به صورت کلی فواید جامعه‌شناختی داشته و انعطاف‌پذیری کارکنان در مقابل محرک‌های تنش زا را افزایش می‌دهد. اگر ملاحظات روانشناسی کارکنان در اصل طراحی محیط ICE چه در روی زمین چه فرای آن در نظر گرفته شود، ماموریت‌ها طولانی‌مدت موفق‌تر خواهند بود و حوادث غیرمترقبه‌ی کمتری را تجربه می‌کنند."(Bassingthwaighte , 2017)

"با وجود مشاهدات محدود صورت گرفته نسبت به مراحل عکس‌العمل در مراحل ICE، شواهد موجود نشان می‌دهد که انزوا و محبوسیت به عملکرد ذهن آسیب می‌زند. آسیب عملکرد ذهنی به صورت کلی به صورت کاهش هوشیاری، تمرکز و حافظه افراد مورد مطالعه تعریف شده است. این مشهادات که عمدتا در ماموریت‌های متفاوت در قطب‌های شمالی وجنوبی صورت گرفته، عمدتا با آنچه در محیط آزمایشگاهی صورت گرفته است مشابه است." (Bassingthwaighte , 2017) "تحقیقات نشان می‌دهد که حضور در محیط‌های سخت، بر عملکرد‌های شناختی مانند استدلال منطقی، آموختن، حافظه، چالاکی و زمان عکس‌العمل تاثیر می‌گذارد. برای مثال هر دو ملوانان نیروی دریایی و تفنگدارا ارتش در زمان آموزش در محیط‌های سخت، کاهش بخصوصی در عملکردهای شناختی خود تجربه می‌کنند."( Paulus, 2009) مطالاعات عصب‌شناسی در مورد واکنش‌های افراد در محیط‌های سخت نشان می‌دهد که کاهش توانایی فرد در عملکرد‌های شناختی حتی در یک فرد سالم با میزان مناسب کورتیزول، هورمون تولیدی بدن در پاسخ به استرس، و وجود استرس در حد نرمال نیز ممکن است اتفاق بیافتد.

"آنچه همه‌ی محیط‌های ICE به طور مشترک دارند، ریسک به شدت بالاست: 1. بقای انسان بدون تکنولوژی بسیار پیشرفته که از آن‌ها در مقابل شرایط متخاصم محیط از انسان محافظت کند ممکن نیست. 2. میزان بالایی از دانش و مهارت برای بقا و موفقیت در ماموریت نیاز است."( Weaver, 2010)

**3-2- جامعه شناسی**

"انسان به صورت فطری موجودی اجتماعی بوده که برای حراست از سلامت روان خود نیازمند ارتباطات پیچیده با دیگران است. این واقعیت جامعه شناسی را به روانشناسی پیوند می‌دهد؛ در زمان زندگی در محیط‌های ICE ، محرک‌های تنش‌زایی مانند محبوس بودن ممکن است از میزان توجه به نکات جامعه‌شناختی کاسته و یا به کل آن را نادیده بگیرد." (Bassingthwaighte , 2017)

برای فهم مشکلات اجتماعی در یک محیط ICE ابتدا بیاد به یک فهم درست از جامعه‌ی کنونی انسان و مراحل مختلف تعاملات انسان‌ها در این جامعه به دست آورد. مشخص است آنچه که در یک محیط منزوی با تعداد افراد محدود اتفاق می‌افتد بسیار متفاوت‌تر از آنچه‌ست که ما هرروز در جامعه‌ی خود تجربه می‌کنیم. افراد حاضر در این جوامع افراد منتخب دارای تخصص‌های خاص و لازم برای به انجام رساندن ماموریت بوده که از میان نخبگان جامعه گزینش شده و آزمایشات متعددی را پشت سر گذاشته اند و آموزش‌های لازم برای تعامل با دیگر افراد در این محیط‌ها دیده‌اند. از طرف دیگر محیط با آنچه که انسان‌ها با آن آشنایی دارند متفاوت است. تجربه‌ی ریزاجتماع‌ها، جوامعی کوچکتر و محدودتر از جوامع انسانی، چالش‌های جدیدی پیش روی انسان قرار می‌دهد. بخش اعظمی از تحقیقات در مورد ICE به مطالعه‌ی انواع این جوامع واکنش‌های اجتماعی و رفتارهای اجتماعی انسان می‌پردازد.

**3-2-1-ریزجوامع**

"در نهایت افرادی که در محیط‌های ICE زندگی می‌کنند تمایل به پایه‌ریزی فرهنگ، شیوه و روش کاری خود دارند. خصوصیات هر شخص در زندگی فردی‌اش باید مشخص شود تا بشود که آن را با محیطی که قرار است در آن زندگی کنند تطابق داد. ساخت اقامتگاهی با توانایی پاسخگویی به نیاز‌های اجتماعی از طریق طراحی اقامتگاه و برنامه‌های اجتماعی مانند بسته‌ی حمایتی ناسا محقق می‌شود. این حساسیت‌ها را می‌توان با برنامه‌ریزی‌های داخلی اقامتگاه از جمله در نظر گرفتن فضاهای نیمه خصوصی و امکان برقراری جامعه‌ی پیچیده با ارتباطات مخابراتی پاسخگو بود." (Bassingthwaighte , 2017) مشاهدات از برنامه‌های آزمایشی و بررسی‌هایی که از اقامتگاه‌های حاضر در محیط‌های ICE به عمل آمده است، نشان می‌دهد که افراد حاضر در اقامتگاه محیط را به دلخواه و بنا بر نیاز‌های خود تغییر می‌دهند در نتیجه طراح بهتر است تا این شرایط را برای افراد ماموریت فراهم کند که در صورت لازم توانایی بعضی تغییرات در محیط خود را داشته باشند.

"رفتار افرادی که در یک ریزجامعه زندگی می‌کنند، ارزش‌ها و هنجارهای آن ریزجامعه را منعکس می‌کند در نتیجه فهم استلزام‌های رفتاری آن حیاتیست. در شرایطی که از فرد انتظار می‌رود که در بهترین حالت عملکرد خود باشد، درک شخص از خود که وابسته به ارتباطش با دیگر به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. این یکی از بزرگ‌ترین مسائلی است که لازمه است در سلامت روانی و اجتماعی افرادی که در آن محیط زندگی می‌کنند در نظر گرفته شود و این مهم بدون توجه به یک طراحی مناسب تحقق نخواهد یافت.

**3-2-2- ریزمحرکها**

"ریزمحرک‌ها یک مفهوم مرتبط با ریز جوامع بوده اما همیشه در بستر ریزجوامع اتفاق نمی‌افتد. ریزمحرک‌ها هر حرکت کوچک، صدا، گرایش که افراد متوجه آن و موجب آزار یا مزاحمت برای آن‌ها شده، تعریف می‌شود. در محیط‌های ICE عدم وجود محرک‌های مختلف و تصادفی در اقامتگاه موجب آزاردهندگی محرک‌های کوچک موجود می‌شود." (Bassingthwaighte , 2017) موارد زیادی قابلیت تبدیل به ریزمحرک‌ها را دارند؛ از صدای دائمی تجهیزات و ماشین‌آلات تا صدای جویدن غذا توسط دیگر افراد و یا یک عادت حرکتی ساده مانند راه رفتن. "به صورت کلی ریزمحرک‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های اقامتگاه یا رفتار افراد ساکن بوده که دیگران را از استراحت یا تمرکز باز می‌دارد." (Bassingthwaighte , 2017)

آثار منفی ریزمحرک‌ها را می توان از طریق حذف این محرک‌ها و یا اضافه و پیچیده‌تر کردن دیگر محرک‌های محیط تقلیل داد. حذف محرک‌ها تقریبا کاری غیرممکن است چرا که در چنین محیطی امکان خاموش کردن تجهیزات و وسایلی که برای حیات ضروری است امکانپذیر نبوده و نمی‌توان از تمامی کارکنان و افراد خواست که به دلخواه شخص مشخص رفتار کنند با توجه به اینکه ریزمحرک‌ها برای همه یک مورد مشخص نیست. در نتیجه برای مقابله با ریزمحرک‌ها باید محیط را به گونه‌ای طراحی کر که بتواند تا درجه‌ی قابل قبولی از محرک‌های محیط‌هایی که انسان در حال حاضر در آن زندگی می‌کند را شبیه‌سازی کند. بهترین پاسخ در طراحی به وجود آوردن نوعی از حریم خصوصی برای افراد بوده که بتوانند به آن پناه ببرند. در محیط‌های محبوس در مقیاس کوچک خوابگاه بهترین مکان برا تحقق این حریم خصوصی است. وجود فضاهایی مانند گلخانه که علاوه بر سبزی نوعی از طبیعت را برای افراد تداعی کند نیز در فرونشاندن این تنش‌ها نقش زیادی ایفا خواهد کرد.

**3-3- آسایش فیزیکی**

فراهم آوردن آسایش فیزیکی و پاسخ به این نیاز‌ها از اولین اولویت‌های هر طراحی در محیط‌های ICE است. افراد لازم است تا ابتدا زنده بمانند تا بتوانند ماموریت‌ها و پروژه‌های مشخص شده را به درستی انجام داده و به طور کامل به اتمام برسانند. با توجه به آنکه محیطICE در تعریف انواعی از محیط‌ها با شرایط متفاوت استفاده می‌شود طبیعی است که طراحی برای هریک از این محیط‌ها با توجه به شرایط و محدودیت‌هایی که محیا می‌کنند متفاوت باشد. در یک محیط ICE با توجه به آنکه افراد زمان کمتری در خارج از اقامتگاهشان می‌گذرانند، فضای داخلی اهمیت بیشتری می‌یابد. " در یک محیط ICE محیط داخلی اقامتگاه براساس آنکه در کدام محیط قرار بگیرد شکل می‌گیرد." (Bassingthwaighte , 2017) در محیط‌های ICE شرایط بسیار محدودکننده بوده و مسائل زیادی که باید به آن پاسخ داده شود فراوان بوده به صورتی که خلاقیت در درجه‌ی دوم اهمیت قرار می‌گیرد و در نتیجه همواره در این محیط‌ها فرم‌های محدود به کار گرفته می‌شود. " یک اقامتگاه ICE براساس آنکه در کدام محیط قرار دارد و چه روشی برای ساخت آن پیش‌بینی شده است در چند فرم ساده محدود می‌شود." (Bassingthwaighte , 2017) با توجه محدودیت‌ها بیشتر توجه در طراحی این فضاها بر مصالح، تکنولوژی ساخت و تاسیسات لازم متمرکز می‌شود.

**4- طراحی بر سطح سیاره ی سرخ**

برخلاف ملاحظات روانشناسی و اجتماعی که پیرو انزوا و محبوسیت بوده و در اکثر محیط‌های ICE به صورت مشابه در نظر گرفته می‌شود، پاسخ به نیاز‌های فیزیکی افراد در هر محیط به صورت مستقیم متاثر از شرایطی است که محیط فراهم می‌کند. در نتیجه با وجود تشابهات در طراحی محیط‌های مشابه، طراحی در هر محیط منحصر به فرد است و باید در رابطه با آن محیط صورت بگیرد.

طراحی بر سطح اجسام سنگی مانند ماه، مریخ و هر جسم سماوی دیگر دارای قوانین مخصوص به خود بوده که از جسم سماوی تا جسمی دیگر با توجه به اندازه‌، جاذبه، جو، عوارض سطح و غیر تفاوت دارد. در سطح مریخ مشکل ریزگرانش، که در ایستگاه‌های فضایی مدار بسیار مورد توجه است، وجود ندارد اما در مقابل آن در فاصله‌ی بسیار دورتری از زمین واقع می‌شود در نتیجه نمی‌تواند به اندازه‌ی ایستگاه‌های مداری به منابع زمین وابسته باشد. مریخ نسبت به ماه جاذبه‌ی بیشتری دارد و برعکس ماه دارای جو هرچند رقیق است. در سطح آن H2O به حالات جامد و گاز پیدا می‌شود در نتیجه یکی از مشکلات اصلی حضور انسان بر سطح خود را تا حدودی حل می‌کند. گرچه برای تبدیل این H2O به آب آشامیدنی فرایند پیچیده‌‌ای باید صورت بگیرد. درصد کمی از ترکیبات جو آن را گاز اکسیژن به صورت آزاد تشکیل می‌دهد اما ترکیبات اکسیژن دار مانند دی‌اکسید کربن به فراوانی یافت می‌شود. جو مریخ به راحتی به پرتوهای مضر و خطرناک مانند ماورای بنفش اجازه‌ی ورود می‌دهد اما زیر سطح سیاره از نفوذ این پرتوها در امان‌ است.

سال‌ها مطالعه و تحقیق در مورد مریخ، تلاش‌های اخیر برای فرستادن انسان به سطح آن و بررسی آنکه یک اقامتگاه مریخی چگونه باید باشد، تا حدی طراحان را در رابطه به آنکه با چه مواجه هستند و چگونه می‌توانند با آن مقابله کنند آگاه کرده است. اکنون برخلاف 50 سال قبل منابعی وجود دارد که طراح می‌تواند برای طراحی بر سطح مریخ به آن مراجعه کند و با درک قوانین کلی و مواردی که باید رعایت کند خلاقیت خود را در این زمینه نشان دهد.

در فضا، بخصوص سطح سیارات دو نوع روش طراحی رایج است؛ طراحی مدولار و روشی جدیدتر که تکنولوژی برای ما به ارمغان آورده است، با استفاده از تری‌دی پرینترها.

**4-1- طراحی مدولار**

" کلمه‌ی مدولار به صورت عمومی در تعریف سازه‌های سختی مانند ایستگاه بین‌المللی فضایی و ایستگاه‌های مداری مانند ایستگاه تیانگونگ که توسط چین سرهم شده است، اطلاق می‌شود. این واژه همچنین در مورد ایستگاه‌های قطبی مانند مک‌موردو و آموندسن-اسکات و دیگر اقامتگاه‌های قطبی به کار می‌رود. با وجود آنکه این سازه‌ها همگی به یک شکل و با استفاده از مدول‌های فلزی که بخشی از اقامتگاه را تشکیل می‌دهند، ساخته شده اند، مدولاریتی روشی تعریف می‌شود که در آن بخش‌های کوچکتر در کنار یکدیگر قرار گرفته تا یک کل بزرگتر را تشکیل دهند. همچنین مفهوم مدولاریتی را می‌توان به صورت روشی از ساخت که در آن واحدهای کوچکتر با مصالح پیش‌ساخته برای نصب راحت‌تر، تعریف کرد." (Bassingthwaighte , 2017)

روش طراحی مدولار در محیط‌های ICE بسیار رایج است و به صورت کلی به دو صورت انجام می‌گیرد، مدول‌های جسم سخت و مدول‌های بادی.

رایج‌ترین مدول استفاده شده در محیط‌های ICE خارج از جو، مدول‌های جسم سخت است که از تیتانیوم، فولاد و آلومینیوم ساخته شده‌اند. مدول‌ها برای پرتاب طراحی شده و معمولا تک کاربری مانند گلخانه، کارگاه و یا برای یک ماموریت مشخص طراحی می‌شوند. ایستگاه فضایی از بهترین مثال‌های این روش ساخت است.(عکس) با این وجود این روش طراحی با خود محدودیت‌هایی به همراه خواهد داشت. مصالحی که برای این نوع از مدول‌ها استفاده می‌شود وزن و حجم زیادی دارند. این مشکل گرچه بر روی زمین و یا در مدارهای پایینی کمتر مشکل‌زا هستند امام در فواصل زیاد مانند ماه، مریخ و دیگر سیارات مشکلاتی را به وجود خواهند آورد.

"تحقیقات در رابطه با موادی که تا شود و در عین حال در مقابل خلا جو فشار را در خود نگه دارد منجر به مدول‌های بادی شد." (Bassingthwaighte , 2017) این مواد از لایه‌هایی غیرقابل نفوذ ساخته شده اند که امروزه در ایستگاه فضایی به کررات از آن استفاده می‌شود. استفاده از مدول‌های بادی از جهت سبکی و کمجا بودن نسبت به مدول‌های سخت برتری دارند. با این وجود تازگی استفاده از این نوع مدول‌ها، سختی بازگشت به حالت اولیه پس از باز شدن و لزوم نصب بر هر سطحی که در آن واقع می‌شوند باعش شده است که از آن به صورت گستره استفاده نشود.

**4-2- 3Dپرینترها**

یکی از جدیدترین روش‌های ساخت که در سال‌های اخیر پیشرفت زیادی داشته، استفاده از تری‌دی پرینترها در صنعت ساختمان است. " 3Dپرینترها از سال 1983 توسط مخترع آمریکایی چاک هال1به دنیا معرفی شد. در حال حاضر 3Dپرینترها برای استفاده‌های صنعتی، نیمه حرفه‌ای و یا سرگرمی در دسترس قرار دارد. تکنولوژی 3D پرینترها براساس اطلاعات طرحی که به این دستگاه فرستاده می‌شود، توانایی تولید فرم‌های متعددی را دارد."( Partsch, 2015) 3Dپرینترها با قرار دادن لایه‌هایی از مواد مختلف قادر به تولید اشکال پیچیده در مقیاس‌های متفاوت هستند." از آنجایی که این تکنولوژی توانایی ساخت سازگاری‌های کوچک با محیط یا برای استفاده در محیط‌های ICE را داشته، پتانسیل آن‌را دارد که هم برای ساخت سازه و هم برای وسایل و تجهیزات مورد استفاده در محیط‌ ICE مورد استفاده قرار بگیرد. استفاده از 3Dپرینترها در طراحی و ساخت در محیط‌های ICE از لحاظ اقتصادی، به دلیل کاهش چشمگیر هزینه‌ی ساخت، و عملی به دلیل توانایی پرینت اکثر وسایل مورد نیاز، پرسود است. هزینه‌ای که برای ساخت یک قطعه برای یک عملکرد خاص به الکتریسیته مورد نیاز پرینتر و مواد اولیه‌ی پرینتر خلاصه می‌شود که با توجه هزینه‌ی ساخت آن بر روی زمین با مواد و انجام عملیات خم‌سازی و دیگر کارهای مکانیکی برای شکل دادن قطعه و فرستادن آن به فضا، بسیار اندک است." (Bassingthwaighte , 2017) کاهش هزینه‌های ساخت امکان افزایش بودجه برای باقی موارد لازم را فراهم می‌کند.

یکی از ویژگی‌های قابل توجه 3D پرینترها، قابلیت استفاده از انواع مواد به عنوان مواد اولیه‌ی پرینت است. این انعطاف به 3D پرینترها این قابلیت را می‌دهد که علاوه بر ساخت اقامتگاه در ساخت وسایل زندگی، تجهیزات و قطعات مورد نیاز تاسیسات و آزمایشگاه‌ها و حتی وسایل لازم که در محل وجود نداشته و پیش‌بینی نشده مانند برخی از وسایل کوچک پزشکی برای انجام بعضی از درمان‌ها استفاده ‌شود. اخیرا تحقیقاتی در رابطه با پرینت مواد غذایی توسط این تکنولوژی مورد مطالعه قرار گرفته که می‌تواند در ماموریت‌های فضایی بسیار موثر واقع شود. انعطاف پذیری در استفاده از مواد اولیه، امکان استفاده از مواد جدید برای پرینت را فراهم می‌کند. در این حالت مبحثی برای استفاده از مواد حاضر در محیط مطرح می‌شود که هدف اصلی آن استفاده از آنچه سایت فراهم می‌‌کند به جای حمل و انتقال مواد به محل مورد نظر است.

گرچه از تکنولوژی 3D پرینترها می‌توان در انواع ماموریت‌ها استفاده کرد، اما استفاده‌ی آن‌ها در بعضی از ماموریت‌ها معقول‌تر و بیشتر است. در ماموریت‌های فضایی برنامه‌ریزی شده بر سطح ماه یا مریخ این تکنولوژی می‌تواند بسیار کارآمده باشد. خاک موجود در این سیارات سنگی مصالح مورد نیاز برای 3D پرینترها را فراهم کرده و با توجه به فاصله‌ی این سیارات از زمین ساخت اقامتگاه در این سایت‌ها با استفاده از موادی که همان محل تامین می‌کند بسیار به‌صرفه‌تر از حمل مصالح، ساخت و سرهم کردن آن است. از آنجایی که 3D پرینترها برای عمل کردن نیاز به دخالت مستقیم انسان ندارند، و به صورت بازوی رباتیک می‌توان آن‌ها را از راه دور هدایت کرد، این قابلیت را دارند که مدت‌ها قبل از انسان به محل مورد نظر فرستاده شده و مشغول به ساخت شوند. در این حالت اقامتگاه انسان‌ها قبل از ورودشان به سیاره آماده‌ی استفاده است و دیگر نیازی نیست تا زمانی را در سطح سیاره در انتظار تکمیل ساخت اقامتگاه بمانند. در حقیقت ماموریت‌های مریخ بر این اساس برنامه‌ریزی شده‌اند." ماموریت پیشنهادی از دو جز عمده تشکیل شده است. جز اول ماموریت آماده سازی بدون سرنشین بوده که برای ساخت موارد سالم برای بقای انسان فرستاده شده و دومین ماموریت آماده شدن برای پرتاب است. در ماموریت دوم چند فضانورد برای استقرار در اقامتگاه ساخته شده در ماموریت اول فرستاده می‌شوند."( Kading, 2015)

**4-2-1- In-Situ**

In-Situ یا درجا به معنی هر پدیده‌ای است که در محل وقوع، رخ می‌دهد. مصالح درجا در حقیق مصالحی هستند که از سایت محل ساخت به دست می‌آیند. این نوع از مصالح در ماموریت‌های ماه و مریخ که به طور قابل ملاحظه‌ای از هزینه‌های ماموریت و حجم بار حمل شده کم می‌کند، کار را راحت‌تر می‌کند.

یکی از مصالحی که می توان به صورت گسترده در سطح مریخ از آن استفاده کرد بازالت است. بازالت حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی به فراوانی در مریخ یافت می‌شود و در دمای ℃1100 ذوب می‌شود." بازالت هچنین به عنوان یک سنگ در مقابل پرتوها مقاوم بوده، گرمای ویژه‌ی بالا و نفوذپذیری مغناطیسی کمی دارد و به نظر می‌رسد برای سازه‌های تحت فشار مناسب باشد." ( Kading, 2015)

در استفاده از مصالح درجا بااستفاده از 3Dپرینترهای لایه‌ی ذوبی، 1FDM می‌توان اقامتگاه‌هایی را پرینت کرد که در مقابل اشعه‌ی ماورای بنفش خورشید که به راحتی از جو رقیق مریخ رد شده و به سطح می‌رسد جلوگیری کرد. همچنین سنگ بازالت استقامت لازم اقامتگاه برای در امان ماندن جان انسان را به راحتی محیا می‌کند.

"3D پرینترهای مدل‌سازی لایه‌ی ذوبی، FDM، یک فرایند ساخت افزایشی بوده که با استفاده از مواد ترموپلاستیکبه صورت لایه لایه، اشیا در هندسه‌های مختف می‌سازد. در ماموریت‌های طولانی مدت فضایی، تقاضا برای ارتقای تکنولوژی 3Dپرینترهایی که از منابع سایت استفاده می‌کنند زیاد است."(Wong, 2015)

**4-2- مصالح**

در سال 2017 محققان هاروارد دریافتند که نوعی از ایروژل‌ها معروف به ایروژل سیلیس نیز خاصیتی نغوذناپذیر نسبت به پرتو‌‌های ماورای بنفش نشان می‌دهند. ایروژل‌های سیلیسی برای به کار برده شدن در گلخانه‌ها بسیار مناسب هستند چرا که با وجود آنکه به پرتوهای ماورای بنفش اجازه‌ی ورود نداده، نور را به راحتی از خود عبور می‌دهند و توانایی ایجاد اثر گلخانه‌ای داشته و گرما را در خود نگه می‌دارند.

برای ماموریت‌های مریخ استفاده از فیبر‌های کربن و انواع دیگر از فراورده‌های کربنی پیش‌بینی شده است.

**4-3- گلخانه**

گلخانه یکی از ارکان‌های اصلی طراحی در فضاهایی با اقلیم شدید بوده که از چند جهت وجود آن هرچند کوچک را در اقامتگاه الزامی می‌کند. اولین بحث، جنبه‌های روانشناختی حضور گیاه در محیطی پراسترس و دور مانند مریخ است. وجود گیاه در هر فضایی به سلامت روان افراد حاضر در آن فضا نقش ایفا می‌کند. گیاهان می‌تواند در تضاد با محیط خشن و سخت مریخ ظاهر شود و به فضا لطافت بدهد. وجود گیاه می‌تواند تا حدودی حس آنچه که افراد بر روی زمین تجربه‌ کرده‌اند را برای آن‌ها تداعی کند و از حس غربت افراد می‌کاهد.

گیاهان علاوه بر جنبه‌ی روانی در آسایش فیزیکی محیط نیز نقش ایفا می‌کنند. وجود گیاه در اقامتگاه به تصفیه‌ی هوا و فیلتر فاضلاب خاکستری تولید شده توسط فضانوردان کمک می‌کند. گیاهان توانایی تولید اکسیژن از دی‌اکسید کربن، مولکولی که بیشترین درصد جو مریخ را تشکیل می‌دهد را داشته و مهم‌تر از همه توانایی تولید مواد غذایی برای ساکنان را دارد.

در ماموریت‌های مدار زمین مسئله‌ی غذا با تامین آن از زمین برطرف می‌شود. این غذاها به صورت کنسرو شده فرستاده شده که طولی عمری حداکثر 18 ماهه دارند. این نوع از غذاها در ماموریت‌های طولانی مدت فضایی که چندین سال به طول می‌انجامد کاربرد ندارد. دوری سیاره‌ی مریخ از زمین باعث می‌شود که امکان فرستادن غذا از زمین برای فضانوردانی که در مریخ ساکن می‌شوند وجود نداشته باشد. یکی از راه حل‌های ارائه شده برای این ماموریت تولید غذا در خود محل بوده که علاوه بر حل مشکل غذا، مواد غذایی تازه نیز در اختیار فضانوردان قرار می‌دهد.

به صورت کلی هدف از ایجاد گلخانه در اقامتگاه به وجود آوردن یک سامانه‌ی اکولوژی بسته است. زمین یکی از بزرگترین سامانه‌های اکولوژی بسته‌ای است که انسان در آن زندگی می‌کند. به وجود آوردن یک اکولوژی بسته در اقامتگاهی در مریخ در حقیقت به وجود آوردن شبیه‌سازی از زمین در مقیاس بسیار کوچکتر بوده که بتواند به صورت خودکفا عمل کرده و تا حد ممکن وابستگی‌اش به زمین کم شود. برای تحقق این سامانه‌ی بسته گیاهان از عناصر اصلی بوده که باید حضور داشته باشند.

**4-5- طرح در بستر**

تامین مصالح تنها امکانات نیست که سایت برای طراحی فراهم می‌کند. عوارض سطحی نیز می‌توانند در طراحی اقامتگاه نقش ایفا کنند. طراحی را می‌توان بر روی سطح یا زیر سطح در نظر گرفت. به علت عوامل جوی، رسیدن قطعات کوچک شهاب‌سنگ‌ها به سطح، پرتوهای خطرناک و دیگر عوامل بهترین نوع طراحی طراحی‌هایی است که حداقل تا فاصله‌ای بر زیر سطح واقع شوند.

برای طراحی در زیر سطح می‌توان از عوارض سطح و زیر سطح کمک گرفت. بسیاری از عوارض جغرافیایی می‌توانند به عنوان محافظ اقامتگاه عمل کنند و از افراد درون اقامتگاه محافظت کنند. استفاده از طراحی زیر سطح امکان تامین گرما در هوای بسیار سرد مریخ، ایستایی، مقاومت در مقابل سنگ‌های پرتاب شده توسط باد به علت جاذبه‌ی کم و جلوگیری از نفوذ پرتوهای ماورای بنفش را ممکن می‌سازد. این طراحی‌ها می‌تواند به صورت طراحی در دهانه‌های برخوردی، نورگیر سقفی و یا در کانال‌های قدیمی مواد مذاب زیرزمین اتفاق بیافتد.

طراحی می‌تواند در یک دهانه‌ی برخوردی گود در نظر گرفته شود که دیواره‌های گودال نقش دیوارهای محافظ را ایفا کرده در این طراحی اکثرا گنبدی بزرگ روی سطح اقامتگاه را می‌پوشاند. طراحی به صورت نورگیر سقفی معمولا در درون کانال‌های باقی مانده از مواد مذاب قبلی طراحی می‌شود. این مواد مذاب که در گذشته در زیر سطح جریان داشته‌اند، گاها از طریق حفره‌هایی به سطح راه پیدا کرده اند. از این حفره‌ها که همچنان بر سطح حضور دارند می‌توان در طراحی استفاده کرده و با قرار دادن نورگیر قسمتی از نور طبیعی و منظره‌ی آسمان را برای ساکنان به ارمغان آورد. و در آخر طراح می‌توان طرح خود را به صورت کامل در زیر زمین در نظر بگیرد و تنها برای رفت و آمد خروجی در نظر بگیرد.(تصویر1)

**5- نتيجه‌گيري**

محیط‌های منزوی، محبوس و شدید گرچه برای حضور انسان شرایط سختی را فراهم می‌آورند اما دانش و تکنولوژی بشری به همراه راه‌حل‌ها و طراحی صحیح می‌تواند با مقابله با آن بپردازد. لازم است توجه شود که نیازهای انسان تنها محدود به آسایش فیزیکی نبوده، بلکه بخش اعظمی از آسایش انسان از راحتی روان و مناسبات درست اجتماعی حاصل می‌شود که نباید نادیده گرفته شود. به وجود آوردن حریم خصوصی، محیط‌های جمعی و در نظر گرفتن فضای سبز در اقامتگاه، در سلامت روانی و در نتیجه سلامت جسمانی افراد موثر است.

شکل و ظاهر طراحی تا حد زیادی بر پایه‌ی آنچه است که محیط برای ما فراهم می‌کند. لازم است که طراح مهارت خود در رابطه با آنچه که سایت در اختیار او می‌گذارد بیازماید و به استفاده از آن بپردازد. محدودیت‌های محیط در نظر گرفته شود و تلاش برای برطرف کردن این محدودیت‌ها و تامین آسایش انسان صورت بگیرد.

برای ساخت اقامتگاه در محیط‌هایی با اقلیمی ناسازگار همچون مریخ طراح نه تنها باید بر اصول اولیه‌ی طراحی آشنا باشد بلکه باید به تمامی موارد لازم برای بقای انسان، تمامی تکنولوژی‌های ساخت بشر که به این منظور کمک می‌کنند احاطه داشته و علوم روانشناسی محیطی را تا حد ممکن دانسته و در کار خود دخالت دهد تا بتواند محیطی فراهم کند که بقا را تضمین و سلامت جسمانی و روانی افراد را تداوم می‌بخشد.



تصویر1: حالت‌های مختلف ساخت در زیر سطح

**مراجع**

* دالکی، احمد. (1385) زمین در فضا (چاپ اول)، موسسه جغرافیایی و کارتو گرافی گیتاشناسی
* دگانی، مایر (خواجه‌پور، محمدرضا). (1386) نجوم به زبان ساده (چاپ اول)، موسسه جغرافیایی و کارتو گرافی گیتاشناسی
* دیکسون، رابرت دی (خواجه نصیر طوسی، احمد)، (1387) نجوم دینامیکی (چاپ سوم)، دانشگاه تهران
* Barlow, N. (2008). Mars: An introduction to its interior, surface and atmosphere (Vol. 8). Cambridge University Press.
* Bassingthwaighte, T. S. (2017). The Design of Habitats for the Long-Term Health of Inhabitants in the Extreme Environments of Earth and Outer Space (Doctoral dissertation, University of Hawai'i at Manoa).
* Bell, E. (Ed.). (2012). Life at extremes: environments, organisms, and strategies for survival (Vol. 1). Cabi.
* Cook, J. (1996). Architecture indigenous to extreme climates. Energy and Buildings, 23(3), 277-291.
* Corneliussen, J. G., Leon, G. R., Kjærgaard, A., Fink, B. A., & Venables, N. C. (2017). Individual traits, personal values, and conflict resolution in an isolated, confined, extreme environment. Aerospace medicine and human performance, 88(6), 535-543.
* Kading, B., & Straub, J. (2015). Utilizing in-situ resources and 3D printing structures for a manned Mars mission. Acta Astronautica, 107, 317-326.
* Ly, J. (2017). Automated Food Tracking & Surveying Interface (AFTSI) for the HI-SEAS Analog Habitat.
* Palinkas, L. A., Johnson, J. C., & Boster, J. S. (2004). Social support and depressed mood in isolated and confined environments. Acta Astronautica, 54(9), 639-647.
* Partsch, L., Vassiliadis, S., & Papageorgas, P. (2015). 3D printed textile fabrics structures. In The International Istanbul Textile Congress, Istanbul, Turkey.
* Paulus, M. P., Potterat, E. G., Taylor, M. K., Van Orden, K. F., Bauman, J., Momen, N., ... & Swain, J. L. (2009). A neuroscience approach to optimizing brain resources for human performance in extreme environments. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 33(7), 1080-1088.
* Perchonok, M. H., Cooper, M. R., & Catauro, P. M. (2012). Mission to Mars: food production and processing for the final frontier. Annual review of food science and technology, 3, 311-330.
* Sandal, G. M., Leon, G. R., & Palinkas, L. (2006). Human challenges in polar and space environments. In Life in Extreme Environments (pp. 399-414). Springer, Dordrecht.
* Weaver, S. J., & Salas, E. (2010, September). Training and measurement at the extremes: developing and sustaining expert team performance in isolated, confined, extreme environments. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 54, No. 1, pp. 90-93). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
* Wong, J. Y. (2015). Ultra-portable solar-powered 3D printers for onsite manufacturing of medical resources. Aerospace medicine and human performance, 86(9), 830-834.
* Wordsworth, R., Kerber, L., & Cockell, C. (2019). Enabling Martian habitability with silica aerogel via the solid-state greenhouse effect. Nature Astronomy, 3(10), 898-903.