نیلوفر احمدی مرزدشتی،کارشناس ارشد
Drniloofarahmadi92@yahoo.com

آزمایشگاه در فضا

سیستم تشخیص و حذف دی اکسید کربن و تجدید اکسیژن در فضا

اگر در آزمایشگاه کار کرده باشید می دانید که غلظت گازها از اهمیت زیادی برخوردار است. نشت گاز چه در محیط خانه و چه در مراکز آزمایشگاهی می تواند بسیار خطرناک باشد، اما در مراکز صنعتی مثل کارخانه ها و آزمایشگاه ها ممکن است یک فاجعه را به معنای واقعی کلمه به وجود بیاورد. زیرا در این مکان ها انسان های زیادی مشغول به کار هستند و هر انسان یعنی یک زندگی. زمانی که غلظت گازهای طبیعی و دیگر گازهای خطرناک در یک مکان زیاد شود، خطر انفجار، گاز گرفتگی و یا آتش سوزی حیوانات، انسان ها و پوشش گیاهی آن مکان را تهدید خواهد کرد. پس اندازه گیری میزان غلظت این گازها و تعدیل آنان بسیار اهمیت دارد. برای انجام و کنترل این کار به صورت دستی امکان پذیر است اما احتمال خطا و غفلت انسانی در آن وجود دارد. بنابراین، باید وسیله ای باشد که این کار را به صورت خودکار و در هر لحظه انجام دهد. در نتیجه ابزاری از این قبیل در طبقه بندی ابزار ایمنی و پیشگیری از خطرات احتمالی قرار می گیرد. این وسیله می تواند وجود گازهای قابل اشتعال، سمی و کمبود اکسیژن در یک محیط را تشخیص دهد. همان طور که قبلا اشاره کردیم ایستگاه فضایی یکی از بزرگ ترین آزمایشگاه های جهان است که غلظت اکسیژن و دی اکسید کربن در آن اهمیت دارد.

کربن دی‌اکسید یا گازکربنیک (با فرمول شیمیایی CO_2)، از ترکیب کربُن با اکسیژن به دست می‌آید. هر شخصی در هنگام تنفس اکسیژن را به دی اکسید کربن تبدیل می کند. بالاتر بودن محتویات دی اکسیدکربن باعث کاهش کیفیت هوا می شود. گاز مزبور گازی است بی‌رنگ، بی‌بو، دارای طعمی مایل به حموضت. وزن مخصوص آن ۱/۵۲ است. چون این گاز سنگین‌تر از هواست، همیشه در طبقه پایین محیطی که حاصل می‌شود، پخش می‌گردد. (این گاز۰/۰۳٪ از هوا را تشکیل می‌دهد). همان طور که می دانید انسان ها نیز مانند بسیاری از جانوران روی زمین برای ادامه زندگی نیازمند تنفس گاز اکسیژن است و باز هم مانند بسیاری از جانداران در بازدم خود گاز دی اکسید کربن را برمی گردانند. فرآیند تبدیل دی اکسیدکربن به اکسیژن به طور وسیعی بر روی زمین توسط گیاهان صورت می پذیرد، اما زمانی که انسان ها وارد فضاهایی مانند زیردریا و یا فضای خالی منظومه شمسی که برای ادامه زندگی آن ها مناسب نیست، می شود، نیاز دارد تا با تکنیک هایی، شرایط را برای ادامه زندگی مساعد کند. یکی از این ملزومات ادامه حیات انسان، گاز اکسیژن است. برای سفرهای فضایی که اغلب بیش از چند ماه طول می‌کشد، همراه داشتن تمام اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت‌ها، عملی نبوده و به همین دلیل، شیوه‌های بازیافت اکسیژن پیشنهاد شده است. برای درک بهتر مثالی را بیان می کنیم. بدون نیروی وزن، درفضا هوای گرم بازدم با هوای تازه جایگزین نمی‌شود، از این رو این خطر وجود دارد که فضانوردان با دی‌اکسیدکربن بازدم خود خفه شوند. وجود هواکش در کنار سر فضانورد نیز بسیار مهم است. زیرا به کمک این وسیله، هوای بازدم کنار رفته و هوای تازه برای نفس کشیدن فراهم می‌شود. اما سیر تکاملی سیستم های تجدید اکسیژن و دفع دی اکسید کربن در فضا چگونه بود؟

اتمسفر هوای کابین فضاپیماهای مرکوری، جمینای و آپولو، حاوی حدود صددرصد اکسیژن در فشار ۲۶۰ میلی‌متر جیوه بودند که فشار آن از فشار اکسیژن در سطح دریا (۱۶۰ میلی‌متر جیوه) مقداری بالاتراست. انتخاب فشار پایین اتمسفر اکسیژنی به دلایل زیر است:

– پایین ترین فشار کلی اتمسفر، سبب تخفیف سبک ترین فشار عروقی ممکن می‌شود.

– اتمسفر تک گازی، پیچیدگی کنترل اتمسفری را به حداقل می رساند.

– نبود نیتروژن، خطر بروز بیماری تقلیل فشار هوا را در هنگام راهپیمایی فضایی خارج سفینه از بین می‌برد.

اما این روش معایبی نیز دارد. در چنین شرایط اکسیژن هایبریکی سبب افزایش خطر آتش‌سوزی می‌شود. نمونه آن آتش‌سوزی غم انگیز آپلو_۱ در حین مأموریت آن در سال ۱۹٦۷ است که منجر به جان باختن سه فضانورد آن شد. نیتروژن در اتمسفر کابین، سبب کاهش خطر آتش‌سوزی می‌شود. از آن حادثه به بعد، از اتمسفر محتوی ٤۰ درصد نیتروژن و ٦۰درصد اکسیژن در عملیات‌های زمینی استفاده شد. بعد از پرتاب، فشار کابین به حد سطوح عملیاتی (۲٦۰ میلی متر جیوه) و محتوای اکسیژنی صد درصد رسید. در مقابل محتوای اتمسفر، فضاپیماهای روسی بیش‌تر شبیه اتمسفر زمین بود. کپسول‌های فضایی سفینه‌های روسی وستوک، وسخود و سایوز همگی حاوی اتمسفری مشابه زمین در فشار ۷٦۰ میلی‌متر جیوه هستند.

برخلاف هواپیما که در آن هوای تازه اتمسفر اطراف با هوای راکد کابین جایگزین می‌شود، اتمسفر موجود در فضاپیما بایستی پیوسته محتویات خود را تخلیه کند. این محتویات شامل: محصولات متابولیکی تولید شده مانند: دی‌اکسیدکربن و آب به همراه محصولات ناچیز متابولیک مانند آمونیاک و متان و سایر مواد هستند. به دلیل منابع ذخیره‌ای محدود آن، سیستم‌های حمایت کننده حیات فضاپیما، بایستی محیط درونی فضاپیما را تمیز نگه داشت.

میزان متوسط مصرف اکسیژن روزانه یک فرد جهت تبدیل مواد غذایی به انرژی ۰/۸٤ کیلوگرم است در نتیجه آن حدود یک کیلوگرم دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. میزان مصرف اکسیژن و تولید دی‌اکسیدکربن بسته به جثه فرد، نوع رژیم غذایی و سطح فعالیت آن متفاوت است.

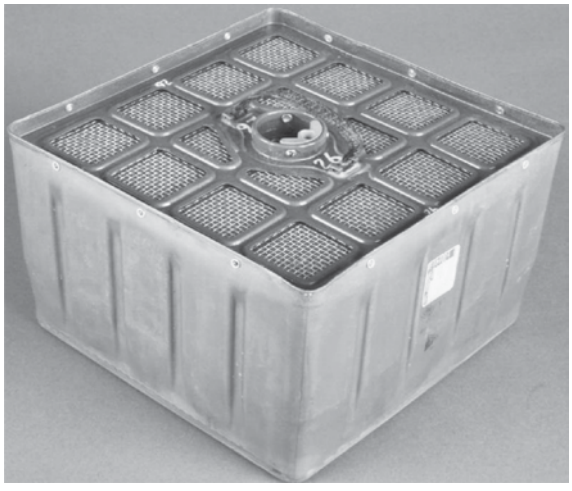
سطح دی‌اکسیدکربن در اتمسفر زمین، برابر با ۰/۲٤ میلی‌متر جیوه است. سطوح بالاتر دی‌اکسید کربن سبب ایجاد تأثیرات سوء فیزیولوژیک مانند: کری، سردرد، کاهش عملکرد شناختی و حتی کاهش سطح هوشیاری و مرگ می‌شود. جهت جلوگیری از بروز این اثرات، سطح دی‌اکسید کربن باید در حد ۷/٦ میلی‌متر جیوه و کم‌تر حفظ شود (هرچند که سطح بالا تا حد ۱۵میلی‌متر جیوه برای مدت زمان کوتاه در شرایط اورژانسی قابل تحمل است). از آنجایی که دی‌اکسیدکربن به طور مداوم توسط تنفس تولید می‌شود لذا به طور مدوام از فضاپیما (جهت حفظ مقادیر آن در سطح پایین) دفع می‌شود.

همان طور که در بالا اشاره شد جهت جلوگیری از اثرات سوء دی‌اکسیدکربن، غلظت آن در اتمسفر بسته فضاپیما باید به حداقل برسد. روش‌های مختلفی برای دفع دی‌اکسید کربن وجود دارد. این روش‌ها بر مبنای واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی با ماده جاذب، جذب فیزیکی به ماده جاذب، جداسازی غشایی یا مصرف زیستی است.

ساده‌ترین روش جهت حذف دی‌اکسیدکربن اتمسفر، جذب شیمیایی غیر تجدید شونده است. در تمام فضاپیماهای آمریکایی مرکوری، جمینای و آپولو، از هیدروکسید لیتیوم استفاده شد. در فضاپیماهای روسی وستوک و وسخود از سیستم KOH/KO۲ جهت جذب دی‌اکسیدکربن استفاده می‌شد.

تصویر ۱. ماسک اکسیژن اورژانسی

این ماسک در پرواز آپولو ۱۱ استفاده شده است و اگر دود یا گاز سمی دیگر ایجاد می‌شد، فضانوردان می‌توانستند از آن استفاده کنند.



تصویر ۲. مخزن لیتیم هیدروکسید

جو در فضاپیما آپولو اکسیژن صد در صد در فشار پنج پوند بر اینچ مربع بود. سیستم اکسیژن دائم اکسیژن تازه را به داخل کابین می‌فرستاد؛ برای ایجاد دوباره اکسیژن برای خدمه باید دی‌اکسیدکربن تولید شده از بازدم فضانوردان توسط مخزن لیتیم هیدروکسید حذف می‌شد.

زمانی که گازهای اتمسفر از قوطی های حاوی هیدروکسید لیتیوم عبور می‌کند، واکنش شیمیایی غیر قابل برگشتی با دی‌اکسیدکربن رخ می‌دهد که سبب تولید کربنات لیتیوم، آب و گرما می‌شود. از آن جایی که این فرآیند غیر قابل برگشت است، لذا هیدروکسید لیتیوم در این فرآیند مصرف می‌شود. لذا برای مأموریت‌هایی که بیش از چند روز طول می‌کشد ذخیره قابل توجهی از هیدروکسید لیتیوم نیاز است. این امر سبب پیشرفت‌هایی در زمینه سیستم‌های تجدید یابنده دفع دی‌اکسیدکربن شد. برای مثال ذخایر مورد نیاز از هیدروکسید لیتیوم، برای مأموریت ١٤ تا ١٨روزه شاتل، بسیار سنگین بود لذا سیستم‌های غربالگری تجدید شونده جایگزین شدند. اما این سیر، رو به پیشرفت گذاشت.

ایستگاه فضایی بین المللی از سال ١٩٩٨ میلادی در مدار قرار گرفته است و از آن زمان به دور زمین در حال گردش است و به طور دائم ساکنانی در آن زندگی می کنند. اما اکسیژن مورد نیاز ساکنین ایستگاه فضایی برای مدت طولانی چگونه ذخیره می شود؟ اولین راهی که به ذهن می رسد، خالص سازی و ذخیره اکسیژن در کپسول های عظیم اکسیژن است اما این تنها راه و بهترین راه برای این کار است؟

اکسیژن را به سه روش در ایستگاه فضایی بین المللی ذخیره می کنند. اولین راه همانطور که در بالا هم به آن اشاره شد به این صورت است زمانی که فضاپیمای پشتیبانی، وسیله نقلیه خودکار اروپا و یا شاتل های فضایی ایالات متحده به ایستگاه فضایی می رسند، ایستگاه فضایی گاز اکسیژن و نیتروژن را به داخل مخزن های پرفشار جداگانه ای پمپ می کند و سپس به نسبتی که این دو گاز در اتمسفر زمین وجود دارد (به طور تقریبی ٢٠٪ اکسیژن و ٨٠٪ نیتروژن) آن ها را ترکیب نموده و در کابین ها به گردش در می آورد. روش دیگری تولید اکسیژن به کمک الکترولیز است. در این روش آب به وسیله ی الکتریسیته ای که به کمک دو الکترود مثبت و منفی از درون آن عبور داده می شود به هیدروژن و اکسیژن تجزیه می شود. در این روش برای رسانایی بهتر کمی نمک به آب اضافه می شود.

انرژی الکتریکی لازم برای انجام این فرآیند توسط پنل های بزرگ خورشیدی ایستگاه فرآهم می شود. آب مورد نیاز برای تولید اکسیژن در درجه اول از طریق وسائل نقلیه ای که در بالا به آن ها اشاره شد از زمین به ایستگاه فضایی برده می شود. همچنین آب موجود در هوای داخل کابین که به وسیله تنفس و تعرق فضا نوردان ایجاد می شود به وسیله کندانسورهایی باز یابی می شود و در نهایت آب موجود در ادرار فضا نوردان نیز بازیابی شده تا هیچ منبع آبی هدر نرود و به کمک آن تولید اکسیژن صورت گیرد.

روش سوم یک روش پشتیبانی برای روش ها دیگر محسوب می شود. در روش سوم به وسیله یک واکنش شیمیایی اکسیژن تولید می شود. این روش با نام های سیستم تولید اکسیژن سوخت جامد (SFOG) و یا شمع های اکسیژن شناخته می شود. در این روش مخلوطی از پودرهای سدیم کلرات (NaClO٣) و آهن در قوطی هایی وجود دارند. زمانی که این پودر را شعله ور نماییم پودر آهن با دمای ٦٠٠ درجه سلسیوس می سوزد و دمای لازم برای شروع واکنش تجزیه پودر سدیم کلرات به سدیم کلرید (NaCl) و اکسیژن را فراهم می نماید. SFOG شش و نیم نفر- ساعت اکسیژن، به ازای هر کیلوگرم، مخلوط پودر تولید می کند.

«انستیتوی تحقیق و توسعه مهندسی شیمیایی» NIIKhimMash که در زمینه سیستم های تسهیل زندگی در فضا فعالیت دارد، در گزارش سالانه خود از برنامه هایش برای ایجاد سیستم تبدیل CO٢ به H٢O (آب) خبر داده است.

این موسسه روسی، پیش از این از ابزارهای دیگری برای فضانوردان رونمایی کرده که شامل دوش، سونا، دستشویی، ماشین لباسشویی و دیگر لوازم بهداشتی است. محققان روسی در مصاحبه با «اسپوتنیک» از مزایا و چالش های فنی استفاده از کربن دی اکسید در سیستم های بازیابی آب فضایی گفته اند: در صورتی که میزان دی اکسید کربن موجود در هوا از حد خاصی فراتر رود، فرد بر اثر هیپرکاپنی یا افزایش کربن اکسید در خون دچار مشکلاتی نظیر اختلال در تنفس، سرگیجه و عدم تمرکز می شود. بنابراین فناوری های تبدیل و تجزیه دی اکسید کربن در فضا مورد استقبال قرار خواهند گرفت. میزان دی اکسید کربن موجود در فضاپیما یا ایستگاه بین المللی فضایی، نباید از ٠/٥ درصد بیشتر شود و در غیراین صورت، فضانورد دچار هیپرکاپنی شده و توان جسمی و تمرکز خود را از دست خواهد داد. میزان غلظت

مجاز دی اکسید کربن موجود در هوا روی زمین، ۰/۰۳ درصد است و با رسیدن این میزان به ۱۳ درصد، جان افراد به خطر خواهد افتاد. در حال حاضر سیستم اصلی پالایش دی اکسید کربن در ایستگاه بین المللی Vozdukh است که توسط انستیتوی NIIKhimMash ساخته شده و برای جذب دی اکسید کربن و خارج کردن آن از ایستگاه فضایی، از جاذب های «زئولیت» ویژه بهره می برد. فضانوردان معتقدند که غلظت CO۲ فعلی با اثرگذاری بر عروق، باعث سرگیجه و مشکلات بینایی شده و باید سطح مجاز آن از ۰/۵ درصد به ۰/۳ درصد یا حتی کمتر از آن کاهش پیدا کند؛ بنابراین توسعه ابزارهای قوی تر برای پاکسازی دی اکسید کربن اهمیت بالایی دارد.

ناسا امیدوار است در آینده با کشت گیاهان در ایستگاه فضایی و یا دیگر کلونی های فضایی، به صورت طبیعی اکسیژن تولید کند و دی اکسید کربن را حذف نماید. اما مشکل، چگونگی پرورش گیاهان زیاد در محیط محدود موجود در فضا است که باید حل شود.

منابع:

1.Afonin BV. Analysis of possible causes of activation of gastric and the pancreatic excretory and incretory function after completion of space flight at the international space station. Human Physiology. 2013 October -504 :(5)39 ;11 510.

2.Bacal K, Frey BM. Selection of Medications for the International Space Station: The Space Medicine Patient Condition Database. Journal of Pharmacy Practice. 2003 Apr; 95-91 :(2)16.

3.Basner M, Dinges DF, Mollicone DJ, Savelev I, Ecker AJ, Di Antonio A, Jones CW, Hyder E, Kan K, Morukov BV, and Sutton JP. Psychological and behavioral changes during confinement in a -520day simulated interplanetary mission to Mars. PLoS One. 2014. March 3)9 ;27):e93298.

4.Beaton-Green L, Lachapelle S, Straube , Wilkins RC. Evolution of the Health Canada astronaut biodosimetry program with a view towards international harmonization. Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2015 November; 106-101 :793.

5.Beven, Holland, Sipes. Psychological Support for U.S. Astronauts on the International Space Station. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 1124 :(12)79 ;2008.

6.Bogomolov VV, Castrucci F, Comtois , Damann , Davis JR, Duncan JM, Johnston SL, Gray GW, Grigoriev AI, Koike , Kuklinski , Matveyev , Morgun VV, Pochuev , Sargsyan AE, Shimada , Straube , Tachibana S, Voronkov YI, Williams RS. International Space Station Medical Standards and Certification for Space Flight Participants. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 2007 December :(12)78 ;1 1169-1162.

7.Bogomolov VV, Grigoriev AI, Kozlovskaya IB. The Russian experience in medical care and health maintenance of the International Space Station crews. Acta Astronautica. 2007 February; 246-237 :(7-4)60.

8.Casaburri A, Gardner C. Space food and nutrition (an educator's guide with activities in science and mathematics). Houston, Texas: National Aeronautics and Space Administration (NASA); 1999. ISBN :13 9781515055525. Available at: http://spacelink.nasa.gov/products.

9.Clement G, Ngo-Anh JT. Space Physiology II: Adaptation of the Central Nervous System to Space Flight - Past, Current and Future Studies. European Journal of Applied Physiology. 2013 Jul; 1672-1655 :(7)113.

10.Clement G. Fundamentals of space medicine. DordrechtB .london: Kluwer Academic; 2003.

11.Cohen L, Vernon , Bergeron . New molecular technologies against infectious diseases during space flight. Acta Astronautica. 775-769 :63 ;2008.

12.D›Aunno DS, Dougherty AH, DeBlock HF, Meck JV. Effect of Short- and Long-Duration Spaceflight on QTc Intervals in Healthy Astronauts. American Journal of Cardiology. 2003 February 497-494 :(4)91 ;15.

13.English KL, Lee SM, Loehr JA, Ploutz-Snyder RJ, Ploutz-Snyder LL. Isokinetic strength changes following long-duration spaceflight on the ISS. Aerospace Medicine and Human Performance. 2015 December -68 :(12)86 1 77.

14.Fomina G, Kotovskaya A, Arbeille F, Pochuev V, Zhernavkov A, Ivanovskaya T. Changes in hemodynamic and post-flights orthostatic tolerance of cosmonauts under application of the preventive device--thigh cuffs bracelets in short-term flights. J Gravit Physiol. 2004 Jul;2)11):P30-229.

15.Fomina GA, Kotovskaia AR, Vil›-Vil›iams IF, Pochuev VI, Zhernavkov AF. Effects of occlusive cuffs «Braslet» on crew hemodynamics in short space flights and orthostatic stability post flight. Aviakosm Ekolog Med. 2004 Nov-Dec;40-36:(6)38.

16.Fomina GA, Kotovskaia AR, Zhernavkov AF, Pochuev VI. Relationship between the hemodynamic disorders in cosmonauts on short-term space flights and orthostatic stability. Aviakosm Ekolog Med. 2005 May-Jun;20-14:(3)39.

17.Gabrielsen A, Norsk P. Effects of Spaceflight on Subcutaneous Venoarteriolar Reflex in the Human Lower Leg. Journal of Applied Physiology. September ;2007 962-103:959.

18.Gibson CR, Mader TH, Schallhorn , Pesudovs K, Lipsky W, Raid , Jennings R, Fogarty J, Garriott , Garriott , Johnston SL. Visual Stability of laser Vision Correction in an Adtronaut on a Soyuz Mission to the International Space Station. Journal of Cataract and Refractive Surgery. 1491-1486 :(3)38 ;2012.

19.Hamilton DR, Alferova IV, Sargsyan AE, Finke EM, Magnus SH, Lonchakov YV, Dulchavsky SA, Ebert DJ, Garcia K, Martin D, Matveev VP, Voronkov YI, Melton SL, Duncan JM. Right ventricular tissue Doppler assessment in space during circulating volume modification using the Braslet device. Acta Astronautica.1508-1501 ;(68) 2011.

20.Hamilton DR, Murray JD, Ball. Cardiac Health for Astronauts: Coronary Calcification Scores and CRP as Criteria for Selection and Retention. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 387-377 :(4)77 ;2006.