

## گیاه-فضا و کاربرد دستگاه کلینواستات در علوم و تکنولوژی نوین

ایمان شفیعی نژاد<sup>۱</sup>، شراره قاسمی<sup>۲</sup>، حسن اکبر نوجوان<sup>۳</sup>، علی محمودی<sup>۴</sup>

۱- استادیار و عضو هیئت علمی پژوهشگاه هوا فضا، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

۲- دکتری بیوتکنولوژی و ژنتیک گیاهی، دانشگاه پلی تکنیک مادرید، اسپانیا .

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی هوا فضا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه مهندسی هوا فضا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

### چکیده

در این مقاله به معرفی و بررسی گیاه-فضا و کاربرد دستگاه کلینواستات در علوم و تکنولوژی نوین پرداخته شده است. در طی سال های اخیر میان رشته ای جدیدی مانند گیاه-فضا نیز به بحث میان رشته های جدید اضافه شده که به مطالعه در خصوص کشت و به کارگیری انواع گیاهان در شرایط فضا جهت بهره برداری مفید برای انسان می پردازد. مطالعات زیست شناسی فضایی از چند دهه پیش آغاز شده است. این مطالعات از دو جهت برای محققان ارزشمند است. در درجه اول برای فرستادن انسان به فضا و انجام مأموریت های فضایی طولانی مدت ، ما باید تأثیر و میزان تغییرات سیستم های زیستی در فضا و مشکلاتی ایجاد شده برای فضانوردان پس از بازگشت به زمین را بدانیم. از طرف دیگر، مطالعات زیست شناسی فضایی موجب افزایش دانش و فهم ما از نحوه عملکرد ارگانیسم ها و واکنش های اساسی زیست شناسی می شود. دستگاه کلینواستات جهت ایجاد محیط عملکردی فضا از لحاظ گرانش می پردازد. لذا در این مقاله این دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است.

**واژه های کلیدی:** گیاه-فضا، زیست-فضا، میان رشته ای، کلینواستات، تحقیقات فضایی

## ۱. مقدمه

زیست شناسی به مطالعه و تحقیق در مورد موجودات زنده مانند گیاهان، جانوران و میکرو ارگانیسم ها می پردازد. در طی سال های اخیر میان رشته ای جدیدی مانند گیاه-فضا نیز به بحث میان رشته های جدید اضافه شده که به مطالعه در خصوص کشت و به کارگیری انواع گیاهان در شرایط فضا جهت بهره برداری مفید برای انسان می پردازد. به طور اختصاصی تر، زیست شناسی فضایی به مطالعه چگونگی پاسخ جانوران و گیاهان به بردار جاذبه و نحوه سازگار شدن آنها با سطوح مختلف جاذبه می پردازد [۱-۳].

نتایج حاصل از مطالعات سلولی، بر سایر مطالعات زیستی در فضا چون زیست شناسی تکوینی، زیست پرتوها، فیزیولوژی و پزشکی فضا مؤثر است. عملکرد هر یک از این حوزه ها در سطح بافت و کل یک ارگانیسم بستگی به عملکرد نرمال و صحیح سلول های مجزا و میان کنش آن ها با یکدیگر دارد. درواقع، زیست شناسی سلولی در فضا به مطالعه اثرات فیزیکی فضا بر سلول می پردازد و به دنبال پاسخ دادن به این سؤال است که آیا جاذبه دارای اثرات مستقیم بر سلول است یا اینکه تغییرات سلولی در شرایط بی وزنی ناشی از تغییرات به وجود آمده در مکانیزم تبادل گازها، انتقال همرفتی گرما یا فیزیک مایعات است. همچنین، مطالعه گیاهان و میکروب ها نیز در شرایط بی وزنی و فضا به ویژه برای فرستادن انسان به فضا و مأموریت های طولانی مدت در شرایطی که باید مواد غذایی در فضا تولید شود، ضروری است. مطالعات زیست شناسی فضایی از چند دهه پیش آغاز شده است. این مطالعات از دو جهت برای محققان ارزشمند است. در درجه اول برای فرستادن انسان به فضا و انجام مأموریت های فضایی طولانی مدت، ما باید تأثیر و میزان تغییرات سیستم های زیستی در فضا و مشکلاتی ایجاد شده برای فضانوردان پس از بازگشت به زمین را بدانیم [۴ و ۵].

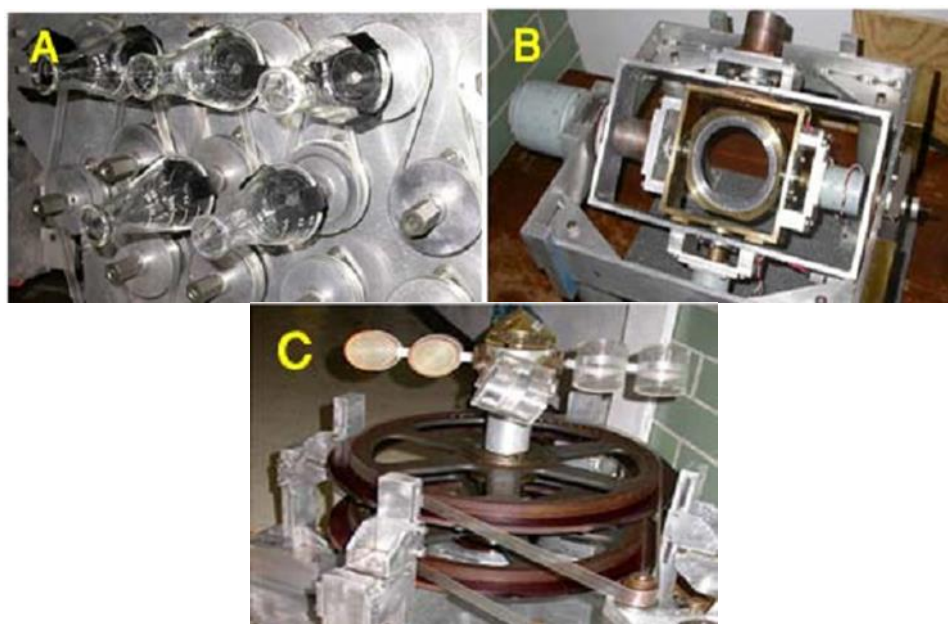
از طرف دیگر، مطالعات زیست شناسی فضایی موجب افزایش دانش و فهم ما از نحوه عملکرد ارگانیسم ها و واکنش های اساسی زیست شناسی می شود. در طول تکامل، حیات بر روی زمین در شرایط جاذبه<sup>۱</sup> گسترش یافته است. تأثیر این نیرو و جبر بر حیات تا به امروز به خوبی مطالعه نشده است. با وجود تکنیک هایی روی زمین برای افزایش نیروی جاذبه (سانتریفیوژ) یا کاهش آن (بی تحرکی و چرخش آرام)، مطالعه اثرات طولانی مدت بی وزنی تاکنون روی زمین به طور جامع و کامل انجام نشده است. همچنین، با وجود دست یابی به کلیاتی در مورد اثر جاذبه و بی وزنی بر کل یک ارگانیسم اما، آگاهی زیادی در مورد تأثیر آن در سطح سلول و وقایع سلولی و ریزتر از سلول، در سطح مولکول ها چون مواد ژنتیکی و پروتئین ها وجود ندارد. نتایج این گونه مطالعات، علاوه بر سودمندی در مسافرت های فضایی می تواند بر بهبود کیفیت زندگی انسان بر روی زمین و سلامت آن نیز مؤثر باشد [۶].

انجام مطالعات زیستی در شرایط واقعی فضا به راحتی امکان پذیر نیست. انجام چنین آزمایش های نیازمند انتقال تجهیزات به محیط فضا و استقرار طولانی مدت در شرایط سخت و خطرناک فضا است. از طرفی، هزینه مسافرت های فضایی نیز بسیار زیاد است و انجام مأموریت های طولانی مدت فضایی به دفعات زیاد مقرون به صرفه نمی باشد. از این رو، دانشمندان سعی می کنند تا محیط فضا را بر روی زمین شبیه سازی کنند و بر روی زمین و بدون انجام مسافرت های فضایی به مطالعه اثرات فضا بر روی ارگانیسم های زیستی بپردازند. یکی از دستگاه هایی که برای شبیه سازی محیط بی وزنی برای کشت سلول های جانوری و گیاهی بر روی زمین طراحی شده است، دستگاه کلینواستات می باشد. از کلینواستات برای مطالعه واکنش سلول های ارگانیسم ها در برابر تغییرات بردار جاذبه استفاده شده است. این وسیله یکی از بهترین ابزارهای شبیه سازی بی وزنی به شمار می رود. نتایج به دست آمده از مطالعات مختلف حاکی از کیفیت بالای سطح شبیه سازی توسط کلینواستات است، به طوری که تقریباً نتایج آن با محیط واقعی بی وزنی برابری می کند. این دستگاه در انواع مختلف یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی که به آن ماشین وضعیت تصادفی<sup>۱</sup> وجود دارد که هر یک دارای مزایا و معایب خاص خود می باشد [۷ و ۸].

<sup>۱</sup>Random Positioning (Machine)RPM

## ۲-تاریخچه استفاده از کلینواستات

قدمت استفاده از کلینواستات توسط زیست شناسان به بیش از یک قرن پیش برمی گردد. دانشمندان از ماشین چرخش اتفاقی برای مطالعه نحوه تطابق ارگانیسم ها با محیط بی وزنی و اثر نیروی جاذبه بر روی رشد و عکس العمل حیوانات و گیاهان بهره برده اند. چرخش سبب می شود تا سیستم زنده مورد آزمایش از تمام جهت ها در معرض بردار جاذبه قرار گیرد. بنابراین، از دید سیستم مورد آزمایش بردار جاذبه حذف و محیط شبیه سازی بی وزنی تداعی می شود. در سال ۱۹۰۴، پففر ۱ از کلینواستات برای پیدا کردن علت رشد ریشه گیاه به سمت مرکز زمین استفاده کرد. بهره گیری از چرخش اتفاقی با کمک کلینواستات سه بعدی برای شبیه سازی میکروگروایتی در سال ۱۹۶۳ توسط دکتر هوسون در ژاپن ابداع شد. در سال ۱۹۹۴، دکتر مس لند از مؤسسه فضایی فوکر وابسته به آژانس فضایی اروپا- مفهوم «وضعیت اتفاقی واقعی» را برای شبیه سازی بی وزنی بیان نمود. ماشین وضعیت اتفاقی، برای اولین بار توسط مرکز حمایت از تحقیقات تجربی کشور هلند در سال ۱۹۹۷ به بهره برداری رسید (شکل ۱) [۹-۱۱].



شکل ۱- انواع کلینواستات (A) کلینواستات یک بعدی (B) کلینواستات سه بعدی (C) کلینواستات دو بعدی [۱۱]

کلینواستات در واقع یک سیمولاتور یا شبیه ساز کم وزنی است. این دستگاه دارای صفحه ای است که به آرامی می چرخد و معمولاً توسط چرخ دنده ای کنترل می شود. با کمک محیط کلینواستات، اثر فاکتورهای خارجی بر روی رشد سلول ممکن است تنظیم یا حذف شود. تا وقتی که زمان تحریک از زمان مورد نیاز برای ایجاد پاسخ کوتاه تر باشد، تغییر پایدار بردار جاذبه از وقوع یک پاسخ هدایت شده و جهت دار به سمت مرکز جاذبه جلوگیری می کند. با استفاده از این مفهوم می توان سطوح مختلف جاذبه را شبیه سازی کرد. در صورتی که یک گیاه کوچک در امتداد افقی و با سرعت ۱ الی ۳ دور بر دقیقه بچرخد، نیروی جاذبه خنثی می شود. علاوه بر این، با دادن زاویه معین به دستگاه دوار می توان کسری از نیروی جاذبه را ایجاد نمود. مثلاً از آن جاکه جاذبه ماه یک ششم جاذبه زمین است، برای ایجاد کردن چنین نیرویی در محیط کلینواستات باید زاویه  $\frac{\pi}{6}$  یا  $\text{Arc Sin}$  ۱۰ درجه به دستگاه داده شود. لازم به ذکر است که با استفاده از این دستگاه می توان هابپرگروایتی را نیز شبیه سازی نمود. برای ایجاد شتابی بیشتر از شتاب ثقل زمین، نیازمند نیروی گریز از مرکز هستیم که در این صورت، دستگاه کلینواستات به سانتریفوژ تبدیل خواهد شد. لازم به ذکر است که بزرگی نیروی گریز از مرکز ایجاد شده به سرعت زاویه ای و شعاع وسیله دوار بستگی دارد [۱۲ و ۱۳].

### ۳- اهمیت استفاده از کلینواستات

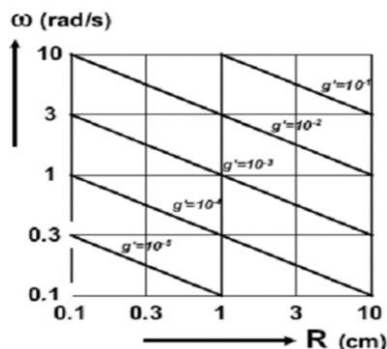
امروزه، فرستادن ایمن و بدون خطر یک فضاپیما به فضای خارج از جو زمین نیازمند صرف میلیاردها دلار هزینه و زمان متخصصان رشته های مختلف است. علاوه بر این، تکنولوژی سفینه های سرنشین دار بسیار پیشرفته تر از انواع بدون سرنشین است و در صورت نیاز به حمل انسان باید هزینه بسیار بیشتری صرف شود. از طرف دیگر، در حال حاضر هیچ گونه روش مطمئنی برای شبیه سازی بی وزنی در یک محدوده زمانی نسبتاً طولانی به جز خارج شدن از جو زمین وجود ندارد و ایجاد حالت بی وزنی کوتاه مدت (چند ثانیه)، نظیر آن چه در ماشین سقوط آزاد، راکت یا هواپیما اتفاق می افتد، ارزش چندانی برای مطالعات زیستی ندارد. بنابراین، به دلیل محدود بودن منابع مالی و مشکلات موجود در محیط های شبیه ساز بی وزنی، اهمیت کلینواستات و نیاز دانشمندان به آن برای انجام مطالعات زیستی افزایش می یابد.

### ۴- شبیه سازی کم وزنی توسط کلینواستات

امروزه می دانیم که بی وزنی و کلینواستات سبب متوقف شدن مکانیسم های درک محرک ثقلی ساکن می شود. همچنین، بی وزنی می تواند محرک ثقلی دینامیک (در حال حرکت) را نیز خنثی کند. اما، در صورتی که سرعت حرکت سلول در کلینواستات کافی نباشد، محرک ثقلی متحرک توسط جاندار حس خواهد شد. برای کاهش هرچه بیشتر نیروی گریز از مرکز، فاصله سلول از مرکز دوران باید به اندازه کافی کوچک باشد (کمتر از ۰/۵ میلی متر)، در این صورت تنها چرخش های سریع در راستای محور افقی (۵۰ الی ۱۲۰ rpm در مقابل چرخش های آهسته که در محدوده ۰/۲۵ الی ۴ rpm قرار دارد) می تواند نیروی جاذبه را خنثی کند. [۱۴]

### ۵- سطح مطلوب برای شبیه سازی

مفهوم کلینواستات بر چرخش اتفاقی بنا شده است. بنابراین، این سیستم نیز مانند سایر سیستم های دوار ممکن است سبب ایجاد شتاب شود. از آنجاکه مطلوب شبیه سازی کامل میکروگراویتی است، پس باید از ایجاد هرگونه نیروی ثقل اضافه اجتناب نمود. سطح شبیه سازی در کلینواستات رابطه بسیار نزدیک با سرعت چرخش و فاصله نمونه از مرکز آن دارد. اصولاً تنها مرکز چرخش می تواند میکروگراویتی را به طور کامل شبیه سازی کند. برای دست یابی به سطح خاصی از شبیه سازی بی وزنی ممکن است مجبور به استفاده از گراف شکل ۲ شویم که یک مقیاس لگاریتمی براساس سرعت دوران و نیز فاصله نمونه از مرکز دوران می باشد. با کمک این گراف، یک مقیاس لگاریتمی براساس سرعت دوران و نیز فاصله نمونه از مرکز دوران ترسیم می شود. به طور مثال، اگر یک نمونه در فاصله یک سانتی متر از مرکز دوران قرار گیرد، با برقراری سرعت زاویه ای یک راد بر ثانیه (حدود ۵۷ درجه در ثانیه)، حداکثر شتاب ثقل وارد بر نمونه کمتر از یک هزارم جی خواهد بود. براساس مطالعات براون در ۱۹۹۵، کلینواستات در مقایسه با پروازهای فضایی، تقریباً به طور یکسان رشد گیاهان را تغییر می دهد [۱۵ و ۱۶]. البته تفاوت اندک بین این دو محیط می تواند در اثر حذف کامل جریان همرفت ناشی از نیروی رانش باشد که تحت شرایط میکروگراویتی واقعی در مایع خارج سلولی به وجود می آید و باعث کاهش انتقال محصولات متابولیکی و رسوب سلولی می شود. براساس مشاهدات بنوا و کلاوس در ۲۰۰۵ نیز خصوصیات رشدی باکتری در دو محیط کلینواستات و فضای واقعی مشابه است.



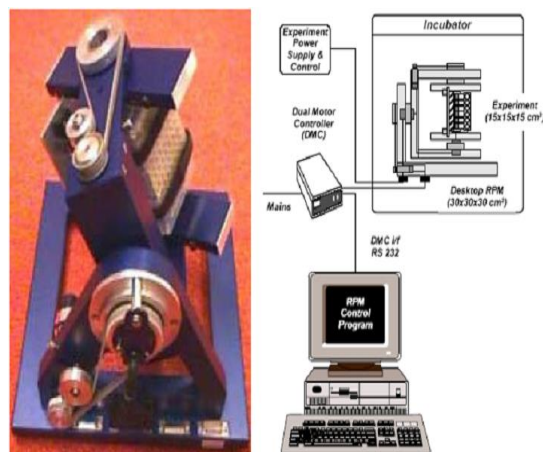
شکل ۲- نمودار مورد استفاده برای تطبیق دادن سرعت زاویه ای مورد نیاز با فاصله نمونه از مرکز دستگاه: R: فاصله نمونه از مرکز و  $\omega$ : سرعت زاویه ای

#### ۶- زمان لازم برای شبیه سازی

گیرنده ثقلی برای درک، تولید سیگنال و پاسخ در برابر محرک های جاذبه، نیازمند گذشت مدت زمان معینی به نام حداقل زمان آمادگی یا زمان آمادگی (MPT) هستند. در هنگام شبیه سازی بی وزنی توسط کلینواستات، با تغییر اتفاقی و مداوم جهت سوژه نسبت به بردار جاذبه می توان اثرات شبیه بی وزنی واقعی را شبیه سازی کرد. البته، این موضوع در صورتی عملی خواهد بود که تغییرات ایجاد شده در کلینواستات سریع تر از زمان پاسخ نمونه مورد آزمایش باشد. تعدادی از گزارش ها محدوده MPT را بین کمتر از ۲۰ تا بیشتر از ۲۰۰ ثانیه برآورد کرده اند. سرعت چرخش کلینواستات در مطالعات مختلف متفاوت است و بستگی به خصوصیات عملکرد خاص گیرنده ثقلی دارد. MPT سلول های گیاهی طولانی تر از نمونه های جانوری است. از این رو، برای شبیه سازی بی وزنی سلول های گیاهی در دستگاه کلینواستات نیازمند سرعت دوران کمتری می باشد و در نتیجه شتاب گریز از مرکز ایجاد شده ناچیز خواهد بود.

#### ۷- انواع کلینواستات

در حال حاضر، کلینواستات در انواع یک، دو و سه بعدی ساخته می شود (شکل ۱). کلینواستات سه بعدی یا ماشین وضعیت اتفاقی، سطح بالاتری از شبیه سازی را ارائه می دهد. همچنین، نتایج به دست آمده از آن شباهت بسیار زیادتری با نتایج واقعی دارد. ولی، ساخت کلینواستات سه بعدی گران تر و پرهزینه تر خواهد بود. در مقابل، ساخت کلینواستات یک و دوبعدی آسان تر است و از آن می توان جهت برآورد نسبی اثرات بی وزنی استفاده کرد. کلینواستات سه بعدی در دو نوع دسک تاپ و کامل وجود دارد. محدوده واقعی انجام آزمایش در کلینواستات دسک تاپ در دایره ای قرار دارد که بزرگی آن به سرعت زاویه ای ( $\omega$ ) و شعاع چرخش (R) بستگی دارد. کاربر کامپیوتر می تواند بر نرم افزار دستگاه تسلط کامل داشته باشد. این نوع کلینواستات دارای دو چارچوب عمودی و یک سکوی آزمایش است [۱۷]. کلینواستات دسک تاپ (شکل ۳) اکثراً جهت انجام آزمایش های استاندارد کشت سلولی و بافتی استفاده می شود. مهمترین مزیت این وسیله قابل حمل بودن آن است. کاربرد اصلی و فعلی این وسیله آزمایش در زمینه های زیست شناسی سلولی، مولکولی، تکاملی و نیز مهندسی بافت است.



شکل ۳- کلینواستات سه بعدی دسک تاپ

#### ۸- سه بعدی دسک تاپ

برخی از خصوصیات کلینواستات سه بعدی عبارتند از:

۱. اندازه: کلینواستات دسک تاپ با ابعاد  $30 \times 30 \times 30$  سانتی متر مکعب است و قابلیت جای گیری در یک انکوباتور استاندارد را دارد. جرم دستگاه ۷ کیلوگرم است که توسط آلومینیوم و استیل ضد زنگ پوشیده می شود. حداکثر حجم آزمایش  $15 \times 15 \times 15$  سانتی متر مکعب و نهایت جرم آن  $1/5$  کیلوگرم است. محموله مورد آزمایش توسط ۱۲ نوار و ۱۵ گیره به شاسی دستگاه متصل می شود.
  ۲. شعاع چرخش: شعاع چرخش در کلینواستات سه بعدی دسک تاپ بین  $0/1$  تا ۱۰ سانتی متر تنظیم می شود.
  ۳. شتاب گریز از مرکز: کمترین میزان شتاب قابل درک در موجودات زنده حدود  $3-10 \times 4/3$  فرض می شود که براساس تجربیات انجام گرفته در مدار اثبات شده است.
  ۴. سرعت زاویه ای: برای همخوانی سرعت چرخش با سینتیک ۱۱۲ فرایند مورد مطالعه، سرعت کلینواستات (از  $1 \text{ rpm}$  تا  $100 \text{ rpm}$ ) به صورت تجربی تنظیم می شود. [۱۸]
- نکته مهم در کلینواستات این است که سرعت زاویه ای ثابت نگاه داشته شود. از این رو، مقدار  $\omega$  را معمولاً قبل از آغاز آزمایش می توان از منوی کامپیوتر کاربر انتخاب نمود. دامنه سرعت زاویه ای اتفاقی در کلینواستات دسک تاپ بین  $0/1$  تا ۳ رادیان بر ثانیه است.

#### ۹- نیروهای جانبی و ناخواسته وارد بر نمونه مورد آزمایش در کلینواستات سه بعدی دسک تاپ:

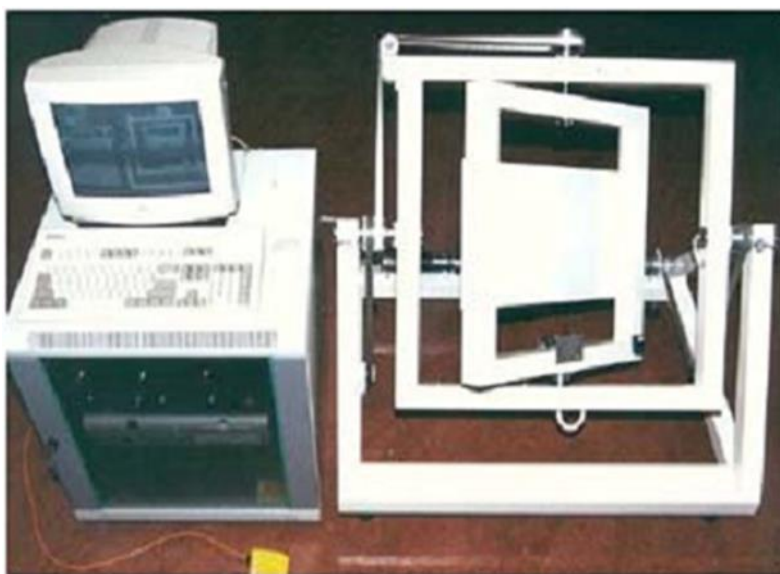
در هنگام چرخش کلینواستات ممکن است عوامل مخدوش کننده ای نظیر نیروهای مکانیکی (تنش برشی مایعات) و نیروهای کششی نیز بر کشت سلولی تأثیرگذار باشد. شایان ذکر است که تنش برشی و کشش به ترتیب به صورت دائمی و لحظه ای بر نمونه وارد می شود. حداقل تنش برشی سیال در مرکز وجود دارد و مقدار آن با فاصله گرفتن از مرکز دوران افزایش می یابد. نیروی کشش، نیروی مخفی دیگریست که از طرف سیال و با تغییر جهت لحظه ای بر کشت سلولی وارد می شود

#### ۱۰- ماشین وضعیت اتفاقی با اندازه کامل:

ماشین وضعیت اتفاقی با اندازه کامل ۳۱۴ نیز از انواع کلینواستات می باشد که در انکوباتور قرار می گیرد و دمای آن بین  $4^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد قابل تنظیم است. همچنین، این نوع کلینواستات قابلیت تأمین مخلوط گازی دی اکسیدکربن به



میزان ۵٪ را در داخل انکوباتور دارد و کاربر کامپیوتر می تواند بر نرم افزار دستگاه تسلط کامل داشته باشد. حداکثر جرم قابل تحمل این وسیله ۲۰ کیلوگرم و حداکثر گنجایش آن  $300 \times 450 \times 450$  میلی مترمکعب است و سرعت چرخش زاویه ای آن بین ۳۰ - ۱۱۵ درجه در ثانیه تنظیم می شود. نمونه توصیف شده برای انجام آزمایشات حجیم تر یا جاسازی ابزار آزمایشگاهی نظیر میکروسکوپ که برای پایش نمونه الزامی است، بیشتر کاربرد دارد (شکل ۴). اکلینواستات پنج تپ دو بعدی دارای ۶ لوله حاوی نمونه (۳ لوله ثابت و ۳ دوار) است. در این وسیله سرعت چرخش قابل تنظیم بین ۳۰ تا ۱۵۰ rpm و حجم نمونه بین حدود ۲ تا ۵ میلی لیتر است. دریچه انتهایی ممکن است بر حسب نیاز باز یا بسته باشد تا مایعات و گازهای لازم بتوانند در لوله آزمایش جریان پیدا کنند. برای اجتناب از لرزش و ارتعاش، موتور در مکان جداگانه قرار گرفته است. این دستگاه از برق ۲۲۰ ولت ۵۰/هرتز تغذیه می شود ولی قابلیت اتصال به برق ۱۲۰ ولت DC را نیز دارد (شکل ۵). در هنگام نیاز می توان این نوع کلینواستات را به گونه ای برنامه ریزی نمود تا شتاب ثقل  $0.1g$  تا  $0.9g$  تولید کند. این سیستم همچنین ممکن است به صورت سانتریفوژ نیز مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴- ماشین وضعیت اتفاقی با اندازه کامل ساخته شده در مرکز فضایی فوکر هلند  
کلینواستات پنج تپ دو بعدی [۱۹]



شکل ۵- کلینواستات پنج تپ دو بعدی [۲۰]

## ۱۱. نتیجه‌گیری

دستگاه کلینواستات دو محوره که موقعیت نمونه آزمایشگاهی را به صورت اتفاقی نسبت به بردار جاذبه زمین تغییر می دهد، شرایط مناسبی را برای شبیه سازی کم وزنی در نمونه های آزمایشگاهی ایجاد می کند. زیرا، برخلاف دستگاه کلینواستات تک محوره و یا دستگاه کلینواستات دومحوره با سرعت زاویه ای ثابت، مسیر حرکت از نظم خاصی پیروی نمی کند. حرکت نمونه بر مسیر منظم موجب می شود که موجود زنده مورد استفاده به عنوان نمونه آزمایشگاهی رشد خود را با این شرایط تطبیق دهد. از این رو، در دستگاه موقعیت دهی اتفاقی با تغییر نامنظم مسیر حرکت، شرایط غیریکنواختی برای نمونه ایجاد می شود که تطابق بسیاری خوبی با شرایط کم وزنی در فضا دارد. از طرف دیگر، دوران پیوسته نمونه مانع از اثر نیروی جاذبه بر رفتار نمونه می شود. در این دستگاه با انتخاب سرعت خطی ثابت برای هر ذره از نمونه آزمایشگاهی، همواره شتاب جانب مرکز ثابتی ایجاد می شود که از دیدگاه ذره مورد نظر همواره جهت این شتاب ثابت است. بنابراین، مقدار شتاب جانب مرکز ناشی از حرکت شرایط مناسبی برای شبیه سازی شتاب ثقل ثابت برای هر ذره ایجاد می کند. این دستگاه برای شبیه سازی محیط بی وزنی برای کشت سلول های جانوری و گیاهی بر روی زمین و مطالعه واکنش سلول های ارگانیسم ها در برابر تغییرات بردار جاذبه طراحی شده است. این وسیله یکی از بهترین ابزارهای شبیه سازی بی وزنی به شمار می رود. نتایج به دست آمده از مطالعات مختلف حاکی از کیفیت بالای سطح شبیه سازی توسط کلینواستات است. به طوری که، تقریباً نتایج آن با محیط واقعی بی وزنی برابری می کند.

## مراجع

- [۱] شفیعی نژاد، ایمان و قاسمی، شراره، تاثیرات تنشهای گرانشی و تشعشعی بر گیاهان در سفرهای فضایی. مجله فناوری در مهندسی هوا فضا، دوره ۲، شماره ۴ - شماره پیاپی ۷، صفحه ۱-۵، زمستان ۱۳۹۸.
- [۲] شفیعی نژاد، ایمان و قاسمی، شراره و صفرزاده، رضا و محمودی، علی، آینده پژوهی در گیاه-فضا و سفرهای آینده فضایی، مجله فناوری در مهندسی هوا فضا، پذیرفته شده. ۱۳۹۹.
- [۳] شفیعی نژاد، ایمان، قاسمی، شراره، نوری، نادیا. کمربندهای تشعشعی ون آلن: چالش مهم ماموریت های زیست-فضا، فضانامه فناوری در مهندسی هوا فضا، دوره ۴، شماره ۳ - شماره پیاپی ۱۴، زمستان ۱۳۹۹.
- [۴] شفیعی نژاد، ایمان و قاسمی، شراره و قدیانی، نرگس، گسترش زیست-فضا و به کارگیری گیاهان دارویی در جهت سلامت فضانوردان در سفرهای فضایی، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ۱۳۹۹.
- [۵] شفیعی نژاد، ایمان و قاسمی، شراره و صفرزاده، رضا، گیاه-فضا و تنش های غیر زنده در شرایط فضا، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ۱۳۹۹.
- [۶] قاسمی، شراره. شفیعی نژاد، ایمان. صفر زاده، رضا. شروعی نوین در علم زیست-فضا مطالعه موردی: بازگشت به ماه نویسندگان: شراره قاسمی - ایمان شفیعی نژاد - رضا صفرزاده، ۱۳۹۸، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک و هوافضا.
- [۷] شفیعی نژاد، ایمان و قاسمی، شراره و محمودی، علی و میرصیافی، امیر هوشنگ، مروری بر پژوهش های اخیر ماموریت های فضایی با رویکرد کمربندهای ون آلن و زیست-فضا، بخش اول، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ۱۳۹۸.



[۸] شفیع نژاد، ایمان و قاسمی، شراره و محمودی، علی و میرصیافی، امیر هوشنگ، مروری بر پژوهش های اخیر مأموریت های فضایی با رویکرد کمربندهای ون آلن و زیست-فضا، بخش دوم، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ۱۳۹۸.

[9] Clement, G. and Slenzka, K., Fundamentals of Space Biology, Research on Cells, Animals, and Plant in Space, Microcosm Press, New York, NY: Springer, 2006.

[10] Dehart, R.L. and Davis, J.R., Fundamentals of Aerospace Medicine, 3rd ed., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2002.

[11] Burgess, C. and Dubbs, C., Animals in Space from Research Rocket to the Space Shuttle, Springer, 2007.

[12] Space Studies Board, Committee on Space Biology and Medicine, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications, A strategy for Research in Space Biology and Medicine in the New Century, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.

[13] Hemmersbach, R., von der Wiesche, M. and Seibt, D., "Ground-based Experimental Platforms in Gravitational Biology and Human Physiology," Signal Transduction, Vol. 6, No. 6, 2006, pp. 381–۳۸۷.

[14] Van Loon, J. J. W. A., "Some History and Use of the Random Positioning Machine, RPM, in Gravity Related Research," Advances in Space Research, Vol. 39, No. 7, 2007, pp. 1161–1165.

[15] Borst, G. and Van Loon, J. J. W. A., "Technology and Developments for the Random Positioning Machine, RPM," Microgravity Science and Technology, Vol. 21, No. 4, 2009, pp. 287–292.

[16] Hoson, T., Kamisaka, S., Masuda, Y., and Yamashita, M., "Changes in Plant Growth Processes under Microgravity Conditions Simulated by a Threedimensional Clinostat," The Botanical Magazine Tokyo, Vol. 105, No. 1, 1992, pp. 53–70.

[17] Hoson, T. et al., "Evaluation of the Three-dimensional Clinostat as a Simulator of Weightlessness," Planta, Vol. 203, No. 1, 1997, pp. S187–S197.

[18] Huijser, R.H., Desktop RPM, FS-MG-R00-017 © Fokker Space (August 2000), available: [on line], <http://www.desc.med.vu.nl/Publications/Other/RP>

[19] Klaus, D. M., Todd, P., and Schatz, A., "Functional Weightlessness During Clinorotation of Cell Suspensions," Advances in Space Research, Vol. 21, No. 8-9, 1998, pp. 1315–1318.

[20] Benavides Damm, T., et al., "Cell Cultivation under Different Gravitational Loads using a Novel Random Positioning Incubator," Biotechnology and Bioengineering, Vol. 111, No. 6, 2014, pp. 1180–۱۱۹۰.