

# تأثیرات تنش‌های گرانشی و تشعشعی بر گیاهان در سفرهای فضایی

تلاش بشر برای دستیابی به فضا و سفرهای فضایی روز به روز گسترده‌تر شده و مورد توجه دانشمندان و آینده‌پژوهان قرار می‌گیرد. بشر برای بقا، نیازمند تأمین غذا به شیوه پرورش گیاهان در سفرهای بلند مدت فضایی خواهد بود. عدم رشد نامناسب گیاهان بستگی به عوامل محیطی زنده و غیرزنده مانند انواع تنش‌ها دارد. از این‌رو تنش‌های غیرزنده مانند گرانش و تشعشع که در سفرهای فضایی بشر وجود دارند باید برای نگهداری و رشد گیاهان در فضا مورد پژوهش قرار گیرند. در بیشتر آزمایش‌ها، گیاه مدلی مانند *Arabidopsis* برای اعمال تنش‌های مختلف جهت بررسی پاسخ رشد گیاهان در فضا مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا در مقاله حاضر تنش‌های گرانشی و تشعشعی فوق برای گیاه *Arabidopsis* در سفرهای فضایی مورد پژوهش قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: گرانش، تشعشع، تنش غیرزنده، گیاهان، سفر فضایی

ایمان شفیعی‌نژاد<sup>۱\*</sup>، استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
شیرازه قاسمی<sup>۲</sup>، دانشجوی دکتری، دانشگاه پلی‌تکنیک مادرید

\* تهران، کدپستی: 1465774111  
shafieenejad@ari.ac.ir

## Effects of Gravitational and Radiation Stresses on Plants Growth for Space Travels

Efforts to reach space is becoming widespread and of great interest to scientists and futurologists. in long time travels human beings are required to supply food in the form of growing plants. Growth of plants is dependent on abiotic environmental factors, such as various stresses. Therefore, abiotic stresses such as gravity and radiation should be investigated for the growth and maintenance of plants in space. A plant model such as *Arabidopsis* is used to investigate the response of plants regarding different stresses in space. Therefore, in this paper, gravitational and radiation stresses have been studied on *Arabidopsis* plant for space travels.

**Keywords:** Gravity, Radiation, Abiotic stress, Plants, Space travel

I. Shafieenejad<sup>1\*</sup>, Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research, and Technology

Sh. Ghasemi<sup>2</sup>, PhD Candidate, Polytechnic University of Madrid (UPM)

\*Corresponding Author, Postal Code: 1465774111, Tehran, IRAN

shafieenejad@ari.ac.ir

## مقدمه

اثرات بلندمدت محیط عملکردی فضا بر رشد گیاهان برای طراحی سی آر ال اس اس<sup>۹</sup> با قابلیت اعتماد بالا جهت اکتشافات فضایی در خارج از مدارهای ارتفاع پایین زمین<sup>۱۰</sup> ضروری است. برای تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی این دانش به واسطه تأثیر محیط عملکردی فضا بر گیاهان، تمرکز در پروژه‌های ماه و مریخ و ایجاد محیط فیزیکی متفاوت از زمین مانند گرانش و تشعشع مهم است. در همین راستا بر اساس پروژه LiRHiPLiSME و در همکاری با اژانس فضایی اروپا، یک نقشه راه جهت هدایت فعالیت‌های علمی آینده در پروژه ملیسا<sup>۱۱</sup> و کشت گیاه در فضا ارائه شده است [۱۰]. لذا توجه به این حوزه برای کشور بر اساس اسناد بالادستی و چشم‌اندازهای صنعت فضایی کشور مبنی بر ارسال موجود زنده به فضا امری حتمی خواهد بود. این مقاله به معرفی تنش‌های وارده از محیط عملکردی فضا مانند تغییرات گرانش و تشعشع بر روی گیاه آرابیدوپسیس می‌پردازد.

## تنش‌های گرانشی وارد بر گیاهان در سفرهای فضایی

تغییرات نیروی گرانشی یکی از عوامل محیطی است که بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. تغییرات در نیروی گرانشی، از جمله میکرو گرانش، یکی از عوامل تنش‌های مکانیکی وارد شده بر گیاهان در سفرهای فضایی است. میکرو گرانش تأثیرات اجتناب ناپذیری بر گیاهان در طول سفرهای فضایی دارد. همچنین می‌تواند به‌عنوان عامل مهم برای ایجاد خطرات بالقوه سلامت در نظر گرفته شود. از طرف دیگر تنش‌های فوق اثرات مخربی بر بذره‌های گیاهانی دارد که قرار است جهت ادامه حیات به فضا برده شوند و مورد پژوهش قرار گیرند. لذا گیاهان باید برای مقابله با آن سازگار شوند. این نوع تنش می‌تواند منجر به ناهنجاری‌های متعددی شود. به‌عنوان مثال، شکستگی کروموزومی، ناهنجاری‌های مورفولوژیکی و یا تغییر در بیان ژن را می‌توان اشاره کرد. مناسب است به یکی از نتایج به‌دست آمده از این تحقیق بر رشد گیاهان تحت تأثیر میکرو گرانش در سفرهای فضایی اشاره شود. نتایج آزمایش‌های سفرهای فضایی با مأموریت بررسی گیاهان عملکرد گیاهان در فضا به‌وضوح نشان می‌دهد که تنش‌های محیطی وارده مانند میکروگرانش، تأثیر قابل توجهی بر رشد و فیزیولوژی گیاهان و در نتیجه کاهش بیان ژن دارد. لذا تأثیرات بالقوه رشد تغییر یافته گیاهان در میکرو گرانش زیاد است. علاوه بر نگرانی عمده مبنی بر

مأموریت‌های بلند مدت آینده سفر به ماه و مریخ به سیستم پشتیبان حیات برای تولید مواد غذایی و همچنین بازسازی منابع حیاتی متکی هستند. سیستم پشتیبانی حیات میکرو اکولوژیکی که ملیسا<sup>۱</sup> نامیده می‌شود از این دست سیستم‌های طراحی شده برای آینده بشر در فضا است. چنین سیستم‌های پشتیبانی به‌واسطه یک چرخه بسته (سی آر ال اس اس)<sup>۲</sup> مانند یک گلخانه برای تولید گیاهان به‌کار می‌رود [۱-۳]. چرخه ایجاد گلخانه برای رشد گیاهان به‌واسطه جذب و انتشار دی اکسید کربن و اکسیژن، تصفیه آب و بازیافت مواد زائد از طریق مواد معدنی، به‌عنوان یک منبع غذایی برای رشد گیاهان مد نظر است [۴ و ۵]. موارد فوق نشان می‌دهد که تحقیق و پژوهش در حوزه بین رشته‌ای بیوتکنولوژی و فضا از اولویت‌های پروژه‌های فضایی در سازمان‌های بزرگ فضایی مانند ناسا<sup>۳</sup> و ایسا<sup>۴</sup> است. گیاهان آزمایش‌های فضایی نشان داده‌اند که قادر به رشد و تکثیر در میکرو گرانشی<sup>۵</sup> هستند [۶ و ۷]. اولین گیاهان مانند: دانه‌های گندم، نخود، ذرت و پیاز در سال ۱۹۶۰ توسط فضاییما اسپوتنیک به فضا ارسال شدند. از مهم‌ترین نتایج این تحقیق می‌توان به فعال‌سازی واحدهای پاسخ دفاعی گیاه در شرایط پرواز فضایی دچار اختلال اشاره نمود. این رفتار از بیان ژن تغییر یافته گیاه حاصل شده است. به‌دلیل کمبود ابزارهای موجود در آزمایش‌های اولیه زیست فضا در دهه شصت میلادی، مطالعات گذشته بر چند پاسخ فیزیولوژیک یا راه‌های بیوشیمیایی متمرکز شده بودند که پس از آن رشد گسترده‌ای در این علم صورت گرفته است.

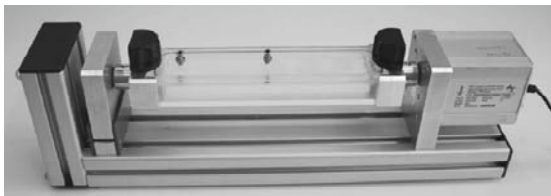
در ادامه این تحقیقات جهت پژوهش در دو زمینه فوق، اندازه‌گیری‌های فتوسنتزی کلرلا<sup>۶</sup> با گیاهچه‌های گندم و گیاه لفل به وسیله ماهواره بایو-۲<sup>۷</sup> به فضا ارسال شدند [۱۵]. از آن زمان، تعدادی از آزمایش‌های گیاهی در فضاییما انجام شد و دانشمندان شاهد موفقیت نیز بودند. پس از این تحقیقات اولیه یک دوره کامل زندگی آرابیدوپسیس تالیانا<sup>۸</sup> در فضاییما سالیوت-۷ تکمیل شده و مورد پژوهش قرار گرفت [۹]. تلاش‌های گسترده و منابع اختصاص یافته برای کاشت و رشد گیاهان در فضا، پاسخ‌های بسیاری را نشان داده و همچنین سوالات علمی جدیدی را مطرح کرده است. دانستن در مورد

1. MELLiSSA
2. CRLSS
3. NASA
4. ESSA
5. Micro-gravity
6. Chlorella
7. Bio-satelliteII
8. Arabidopsis thaliana

9. CRLSS  
10. LEO  
11. MELISSA

## شرایط میکرو گرانشی شبیه سازی شده

دانشمندان انواع مختلفی از امکانات و تجهیزات زمینی را برای رسیدن به هدف شرایط میکروگرانشی در فضا یا به عبارتی شرایط بی وزن بودن عملکردی توسعه داده‌اند. به‌عنوان مثال، شناوری می‌تواند گرانش را جبران کند و شرایط میکروگرانشی شبیه‌سازی شده را در یک استخر ایجاد نماید. در این راستا فضانوردان برای حضور در فضا، زیر آب آموزش می‌بینند. کلینواستات<sup>۱۳</sup> دستگاهی تجربی است که می‌تواند بردار جاذبه را حول یک یا دو بردار در حال گردش یکسان نماید (شکل شماره (۱)). با این حال، تحقیق در شرایط میکروگرانشی شبیه‌سازی شده باید با تحقیق در شرایط میکروگرانشی واقعی مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. در واقع، کاوشگر یکی از سامانه‌هایی است که می‌تواند این شرایط را به‌وجود آورد.



شکل ۱- دستگاه کلینواستات ۲ بعدی

## مطالعه یک تحقیق گیاهی به‌واسطه میکروگرانش

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که تحقیقاتی در آزمایشگاه‌های گیاه‌شناسی بر روی تأثیر گرانش بر روی بذرهای گیاه مدل، آرابیدوپسیس تالیانا، و بر روی گونه وحشی<sup>۱۴</sup> آن به‌عنوان گیاه شاهد انجام شده است [۱۲ و ۱۳]. بذرها در محیط مواشیگ و اسکوگ کشت شدند. گیاه آرابیدوپسیس یکی از گونه‌هایی است که توالی ژنی آن به‌طور کامل مشخص شده و از گونه وحشی آن استفاده می‌شود. بذرهای به‌دست آمده، با حدود ۱ سانتی متر طول از گیاه آرابیدوپسیس در یک گلخانه آزمایشی کاشته می‌شوند. همچنین، این آزمایش در دوره‌های زمانی ۳ و ۶ و ۱۲ ساعت انجام شده است. تغییرات در بیان ژن‌ها با استفاده از دستگاه پی سی آر<sup>۱۵</sup> شناسایی شده‌اند. چندین ژن مورد آزمایش قرار گرفته پس از تأثیر میکروگرانشی شبیه‌سازی شده، سطوح رونویسی را افزایش دادند. به‌طور خاص، ژن‌های CAT3 و LEC1 به‌طور قابل توجهی افزایش نسبی بیان ژن را نشان دادند. نتایج حاکی از آن بوده که تغییرات در سطوح بیان روی آرابیدوپسیس بستگی به نوع ژن‌ها و عمدتاً زمان تأثیر میکروگرانشی شبیه‌سازی شده داشته است.

کاهش عملکرد به‌علت تغییر بافت فیزیولوژی، نگرانی دیگری مبنی بر اینکه گیاهانی که در میکرو گرانش رشد می‌کنند بیشتر به میکرو ارگانسیم‌ها حساس‌اند، وجود دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، میکروب‌هایی که می‌توانند گیاهان را تحت تأثیر قرار دهند اغلب از سخت‌افزارهای ایستگاه فضایی جدا شده و شواهدی از آلودگی‌های میکروبی گیاهان در محیط سامانه فضایی به‌دست آمده است. این موضوع به‌خصوص در تحقیقات اولیه در این حوزه به‌واسطه عدم آگاهی از ایجاد شرایط آنتی میکروارگانسیم‌ها مشاهده شده است. لذا گیاهانی که تحت تأثیر میکروگرانش قرار دارند، پاسخ‌های غیرقابل انتظاری به میکروب‌ها نیز داده‌اند که با پاسخ آنها در شرایط گرانش زمین متفاوت است [۱۱].

## میکرو گرانش

میکروگرانش در مقایسه با گرانش روی سطح زمین بسیار کوچک است و در پروژه‌های فضایی مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌طور کلی برای توصیف شتاب خیلی کمتر از ۱g از لفظ میکروگرانش استفاده می‌شود. میکروگرانش به‌واسطه سقوط آزاد در یک جسم می‌تواند پدید آید. به‌عنوان مثال، در داخل ماهواره‌ای که در مدار زمین قرار دارد، این پدیده مشاهده می‌شود. به‌منظور بررسی رفتار اثر میکروگرانش و شرایط سخت و گران قیمت آزمایش در فضا، شرایط میکروگرانش در زمین در آزمایشگاه‌ها شبیه‌سازی می‌شود.

## مافوق گرانش

شتاب بزرگتر از ۱ واحد یا ۱g مافوق گرانش<sup>۱۲</sup> نامیده می‌شود. این میزان شتاب را می‌توان در یک آزمایشگاه با استفاده از یک دستگاه سانتریفیوژ تولید کرد که می‌تواند تغییرات شتاب‌های بزرگتر از ۱g را به‌واسطه تغییرات ناگهانی بردار سرعت وسیله فضایی مانند پرتاب و یا فرود شبیه‌سازی نماید.

## شرایط میکرو گرانشی واقعی

میکروگرانش کوتاه مدت را می‌توان در برج سقوط (برای ۲-۱۰ ثانیه)، بالن (۳۰-۶۰ ثانیه)، پرواز مداری هذلولی یک هواپیما (۲۰-۲۵ ثانیه) یا یک کاوشگر (تا ۱۵ دقیقه) ایجاد نمود. شایان ذکر است این روش‌ها مناسب سیستم‌هایی با پاسخ سریع است. با این حال، به‌منظور مطالعه طولانی مدت اثرات میکروگرانش، ماهواره‌ها یا آزمایشگاه‌های فضایی زیستی باید مورد استفاده قرار گیرند. توسعه ایستگاه‌های فضایی مانند ISS از این جهت نیز مهم خواهد بود.

13. Clinostat  
14. Colombia (Colo\_0)  
15. PCR

12. Hyper-gravity

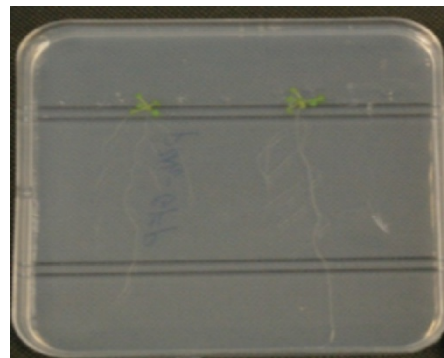
نتایج نشان می‌دهد با قرار گرفتن نمونه آزمایشی در معرض میکروگرانش، سطوح پروتئین‌ها کاهش یافت. همچنین میکروگرانش مدل شده با استفاده از دستگاه کلینواستات سه‌بعدی برخی از فعالیت‌های رونویسی<sup>۱۶</sup> ژن مورد مطالعه در آراییدوپسیس تالیانا را تغییر داد. از طرف دیگر باید به اثر میکروگرانش در تغییر میزان بیان ژن TCH2/CML24 اشاره نمود. به دنبال آن تغییر در بیان ژن‌های CAT3، SGR2 و LEC1 نیز مشاهده شد. تغییرات در بیان ژن در سایر ژن‌ها نیز مشاهده شده و بیان آن‌ها افزایش یافت. لذا نتایج نشان می‌دهد که عملکرد میکروگرانش نه تنها تحت تاثیر یک ژن خاص است بلکه به زمان قرار گرفتن در معرض میکروگرانش نیز بستگی دارد. بنابراین، بررسی انواع سفرهای فضایی از منظر اندازه و زمان شتاب‌های وارده بر مسیر مهم خواهد بود و باید بررسی شود.

### تنش‌های تشعشعی

بررسی اثرات تابش در فضا از دیگر زمینه‌های مهم مورد توجه پژوهشگران فضایی است [۱۴ و ۱۵]. گیاهان نظیر سایر موجودات زنده در فضا تحت تأثیر تشعشعات کیهانی<sup>۱۷</sup> GCR و ذرات باردار خورشیدی<sup>۱۸</sup> SPE هستند. عوامل یاد شده بسیار برای حیات موجودات زنده بسیار خطرناک است و برای گیاهان به‌عنوان تنش‌های مخرب تشعشعی شناخته می‌شود. طیف GCR در درجه اول از پروتون‌های با انرژی بالا و هسته‌های اتمی، یعنی حدود ۸۷ درصد پروتون‌های انرژی بالا، ۱۲ درصد ذرات آلفا و ۱ درصد یون‌های سنگین‌تر از آهن تشکیل شده است. SPE از پروتون‌های انرژی متوسط و پایین و ذرات آلفا تشکیل شده است. سفرهای متعدد فضایی و شبیه‌سازی بر روی زمین دانش را در مورد اثرات بیولوژیکی تنش‌های وارده بر موجودات زنده و گیاهان افزایش داده است. این تحقیقات کمک شایانی به انسان و حیات موجودات زنده از منظر سفرهای فضایی خواهد کرد. میزان تشعشعات فوق در دو حوزه اطراف زمین تحت نام کمربندهای ون آلن بسیار مورد توجه دانشمندان فضایی است. لذا در ادامه توضیح اجمالی در مورد آن آورده شده است.

ذرات بارداری که در میدان مغناطیسی زمین به دام می‌افتند، کمربندهای تابشی ون آلن<sup>۱۹</sup> را تشکیل می‌دهند. این کمربندها دو حلقه میان‌تهی اطراف زمین را تشکیل می‌دهند. ون آلن در سال ۱۹۵۸ میلادی از داده‌های گردآوری شده توسط

علاوه بر آن رویان‌های تازه جوانه زده در بذر آراییدوپسیس تالیانا در معرض میکروگرانش شبیه‌سازی شده و در دستگاه کلینواستات سه‌بعدی برای ۹۶، ۴۸ و ۱۶۸ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. از طرف دیگر نمونه‌های کنترل تحت شرایط مشابه و برای همان زمان بدون تنش‌های گرانشی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تحقیق فوق، بیان نسبی ۱۲ ژن گیاه مورد آزمایش قرار گرفت و فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی، محرک مکانیکی میکروگرانش مورد آزمایش قرار گرفتند. در ادامه رویان‌های تازه جوانه زده در بذر - آراییدوپسیس تالیانا با استفاده از دستگاه کلینواستات سه‌بعدی تحت تنش‌های میکروگرانشی قرار گرفته‌اند (به شکل شماره (۳) رجوع شود).



شکل ۲- نمونه یک محیط کشت برای گیاهان



شکل ۳- دو نمونه دستگاه کلینواستات سه‌بعدی

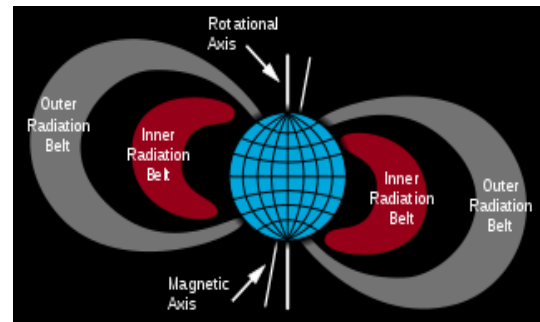
16. Transcriptional  
17. Galactic cosmic rays (GCR)  
18. Solar particle effect  
19. Van Allen Belt

مهمی مانند اعزام موجود زنده به فضا متأثر از دانش بین رشته‌ای زیست-فضا خواهد بود.

## مراجع

- [1] Godia, F. and Albiol, J. Montesinos, "A loop of interconnected bioreactors to develop life support in space," *J. Biotechnol.* Vol. 99, 2002, pp. 319-330.
- [2] Paradiso, R. de Micco and V. Buonomo, "A literature review and the experience of the MELiSSA project—Food characterization phase I," *Plant Biol.* Vol 16, 2014, pp. 69-78.
- [3] Kiss, J.Z. "Plant Biology in Reduced Gravity on the Moon and Mars," *Plant Biol.* Vol 22, 2014, pp. 87-95.
- [4] Ferl, R., Wheeler, R., Levine, H.G. and Paul, A.L., "Plants in Space," *Curr. Opin. Plant Biol.* Vol 5, 2002, pp. 258-263.
- [5] Ivanova, T., N. Bercovich, "The 1st Space Vegetables have been Grown in the "Svet" Greenhouse using Controlled Environmental-Conditions," *Acta Astronaut.* Vol. 29, 1993, pp. 639-644.
- [6] Link, B.M., Durst and Zhou, S.J. "Seed-to-seed Growth of *Arabidopsis thaliana* on the International Space Station," *Adv. Space Res.* Vol 31, 2003, pp. 2237-2243.
- [7] Sychev, V.N., Levinskikh, M.A. and Podolsky, I.G. "Biological Component of Life Support Systems for a Crew in Long-Duration Space Expeditions," *Acta Astronautic.* Vol. 63, 2008, pp. 1119-1125.
- [8] Stanković, B. A., "Plant Space Odyssey," *Trends Plant Sci.* Vol 6, 2001, pp. 591-593.
- [9] Merkys, A.J., Laurinavicius, R.S. and Svegzdiene, D.V., "Plant Growth, Development and Embryogenesis During Salyut-7 Flight," *Adv. Space Res.* Vol 4, 1984, pp. 55-63.
- [10] Wolff, S.A., L.H.Coelho, M.Zabrodina, E.Brinkmann and A.-I.Kittang, "Plant Mineral Nutrition, Gas Exchange and Photosynthesis In Space: A review," *Adv. Space Res.* Vol 51, pp. 465-475.
- [11] Jan Leach, M., Ryba-White, Q., Sun, C.J., Wu, E., Hilaire, C., Gartner, O., Nedukha, E., Kordyum, M., Keck, H. Leung and J.A. Guikema, "Plants, Plant Pathogens, and Microgravity --A Deadly Trio, *Gravitational and Space Biology Bulletin*", Vol. 14, No.2, 2001, pp 15-25.
- [12] Karoliussen, I., E. Brinkmann, A.I., Kittang, "Will Plants Grow on Moon or Mars? Current Biotechnology, Vol 2, 2013, pp. 235-243.
- [13] Švécarová, M., M. Kovalová, V. Ondřej "Effect of Simulated Microgravity on Gene Expression During Embryogenesis of *Arabidopsis Thaliana*," *BioRxiv Preprint*, Nov. 14, 2018;
- [14] Shafieenejad, I. and Kosarizadeh, S., "Van-Allen Belt Cosmic Radiation Difficulties and New Strategies for Star Navigation," *3<sup>th</sup> Iran National Cosmic Radiation Conference & 1<sup>th</sup> Iran National Space Conference*, 2014, Tehran, Iran.
- [15] Shafieenejad, I. and S. Kosarizadeh, "Van-Allen Belt Simulation with Neural-Fuzzy Intelligent Method," *3<sup>th</sup> Iran National Cosmic Radiation Conference & 1<sup>th</sup> Iran National Space Conference*, 2014, Tehran, Iran.
- [16] Narici, L. and M. Casolino, "Radiation survey in the International Space Station," *J. Space Weather Space Clim*, Vol 5, 2015, pp. 2-14.

ماهواره اکسپلور این کمربند را کشف کرد و به افتخار او نام‌گذاری شده‌اند. فضانوردان در فاصله‌های ایمن بسیار پایین‌تر از این کمربندهای تابشی دور زمین می‌گردند (برای مثال زیر ارتفاع داری ۵۰۰ کیلومتر، مانند ایستگاه بین‌المللی فضایی). طوفان‌های خورشیدی، ذره‌های باردار را به صورت فواره‌های عظیمی پرتاب می‌کنند که بسیاری از آنها از نزدیکی زمین می‌گذرند و در میدان مغناطیسی آن به دام می‌افتند.



شکل ۴- کمربند ون آلن

زمانی که گیاهان تحت تأثیر تابش‌های کیهانی قرار می‌گیرند به علت آسیب‌دیدگی DNA، رشد غیرطبیعی در گیاه مشهود است. به طور کل این نمونه تشعشعات تأثیر مخربی بر رشد گیاهان دارند و کاهش رشد آنها را منجر می‌شوند [۱۶]. برای تست این فرضیه، دانه‌های گیاهان تحت تأثیر میکروویو، مادون قرمز، اشعه ماورای بنفش و اشعه ایکس قرار گرفتند. در اطلاعات به دست آمده کنترل گروهی که در معرض هیچ تابشی قرار نگرفته‌اند، داری رشد سریع‌تر بوده‌اند. همچنین، نتایج نشان داد این تابش موجب جهش در دی‌ان‌ای گیاه می‌شود و باعث کاهش رشد و زمان جوانه زنی شده است. لذا اهمیت پژوهش‌های گسترده در این زمینه به‌واسطه سفرهای فضایی که کمتر در معرض تابش‌های فضایی قرار گیرند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است.

## نتیجه‌گیری

از تحلیل‌های صورت گرفته در دو حوزه تنش‌های گرانشی و همچنین اثرات مخرب تشعشعات فضایی این استنباط می‌شود که تنش‌های فوق حتماً باید مورد بررسی و پژوهش قرار گیرند. جهت حضور انسان در ارتفاعات بالاتر از ایستگاه فضایی و حضور مداوم در فضا، لزوم توجه به تأمین مواد غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. طراحی سفرهای فضایی با رویکرد کاهش تنش‌های فوق می‌تواند کمک شایانی به تسهیل حضور انسان در فضا کند. لذا هم‌راستا با گسترش شاخه‌های مختلف علم مانند فضا و زیست‌شناسی، در آینده طراحی مأموریت‌های