



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI

UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN HABERLEŞME UYDULARI
ÜZERİNE ETKİLERİ

Yüksek Lisans Tezi

Selami GEÇGİN

Danışman : Prof. Dr. Serhat ÖZDER

Eş Danışman : Doç. Dr. Ayşegül YILMAZ

Ocak , 2007

ÇANAKKALE

**UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN HABERLEŞME UYDULARI ÜZERİNE
ETKİLERİ**

**Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Fizik Bölümü**

Selami GEÇGİN

Danışman : Prof. Dr. Serhat ÖZDER

Eş Danışman : Doç. Dr. Ayşegül YILMAZ

**Ocak, 2007
ÇANAKKALE**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Selami GEÇGİN tarafından Danışman Prof. Dr. Serhat ÖZDER ve Eş Danışman Doç. Dr. Ayşegül YILMAZ yönetiminde hazırlanan “**Uzay Radyasyon Çevresinin Haberleşme Uyduları Üzerine Etkileri**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Eyüp ÖZDEMİR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. İhsan YILMAZ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Serhat ÖZDER

Jüri Üyesi

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tezin ortaya çıkmasında yardım ve önerilerini esirgemeyen ve çalışma boyunca fikir ve yorumları ile yol gösteren, Eş Danışmanım Doç. Dr. Ayşegül YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma boyunca öneri ve görüşlerini bizimle paylaşan ve tezin genel kapsamının belirlenmesinde yardımcı olan Danışmanım Prof. Dr. Serhat ÖZDER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak bu tezi, maddi ve manevi desteklerini hiçbir bir zaman eksik etmeyen, dünyadaki varlık sebebim ve benim için sevgisi kalbimin derinliklerinde olan sevgili eşim Matematik Öğretmeni Filiz GEÇGİN'e en içten sevgilerimi sunarım.

Selami GEÇGİN
Çanakkale, Ocak 2007

UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN HABERLEŞME UYDULARI ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Genelde mükemmel bir boşluk gibi düşünülmesine karşılık, aslında uzay ortamı, güneş rüzgarı ve benzeri diğer etkilerin sonucunda çok değişken ve tehlikeli boyutlarda radyasyon üreten bir çevredir. Bu tez çalışmasında dünya çevresindeki haberleşme uyduları üzerine olumsuz etkileri ve uyduların işlevleri üzerindeki zararları tartışılacaktır. Eğer uzay radyasyon etkileri minimum seviyeye indirgenmek isteniyorsa; bu etkilerin neler olduğunun tam anlamıyla bilinmesi gerekir. Uyduların normal işlevlerini yerine getirebilmeleri, işlevsel fonksiyonlarının belirli standartlar içinde çalışmasına bağlıdır. Bu standartlar da uyduların görev yapacağı bölge göz önüne alınarak oluşturulur. Uydu uçuş projeleri de bu çerçevede gerçekleştirilmelidir. Uzay radyasyonunun zararlı etkileri küçümsenmeyecek boyutlardadır. Hatta üzerinde önemle durulması gerekmektedir. Bu etkilere karşı yeterince önlemler alınmazsa, bu durum hiç beklenmedik bir anda uydu ve uzay araçlarının kayıplarına neden olabilir.

Anahtar sözcükler :Uzay radyasyonu, haberleşme uyduları,uydu yapısı

THE EFFECTS OF SPACE RADIATION ENVIRONMENT ON THE COMMUNICATION SATELLITES

ABSTRACT

The space environment is usually considered a perfect hollow volume. Actually this environment is unprotected to solar winds and other effects, i.e., it is variable and creates radiation. That conditions are investigated in this thesis. The space radiation does influence communication satellites and sometimes spoils them. If we don't want space radiation's influence, we must know "what these first effects" are. Satellites need to satisfy many standards for good functional performance. These standards must be chosen according to their working zone. The space radiation effects may have especially major impact on the communication satellites. If some precautions are not taken against these dangers, equipments of space crafts may be out of control and satellites can even be lost at unexpected moments.

Keywords : Space Radiation, Communication Satellites, Satellite's Structure

İÇERİK	Sayfa
TEZ SINAVI SONUÇ BELGESİ	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM 1 - GİRİŞ	2
BÖLÜM 2 – UZAY RADYASYONU	4
2.1. Tuzaklanma Radyasyonu	4
2.2. Galaktik Kozmik Işınlr	9
2.3. Güneş Işınları	10
BÖLÜM 3–UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN HABERLEŞME UYDULARI ÜZERİNE ETKİLERİ	12
3.1. Uzay Aracı Yüklenmesi	13
3.1.1. Yüzey Yüklenmesi	14
3.1.2. Derin Yalıtkan veya Kütle Yüklenmesi	16
3.1.3. İç Dielektrik Yüklenmesi	16
3.1.3.1. Yüklenme ve Değişirme Etkileri	16
3.1.3.2. Nötr Parçacık Etkileri.....	16
3.1.3.3. Akış Potansiyeli Üzerindeki Etkileri	17
3.1.3.4. Dahili ve Derin Dielektrik Yüklenmesi	17
3.1.3.5. Yüzey Yüklenmesi İlişkileri	17
3.1.3.6. Arıza	18
3.1.3.7. Yük Depolama	18
3.1.3.8. Madde İletkenliği	19
3.1.3.9. Isı Bağımlılığı.....	20
3.1.3.10. Elektriksel Alan İndüklenme Serbestliği.....	21
3.1.3.11. Radyasyon Etkileri	22
3.1.3.12. Zaman Bağımlılığı.....	23

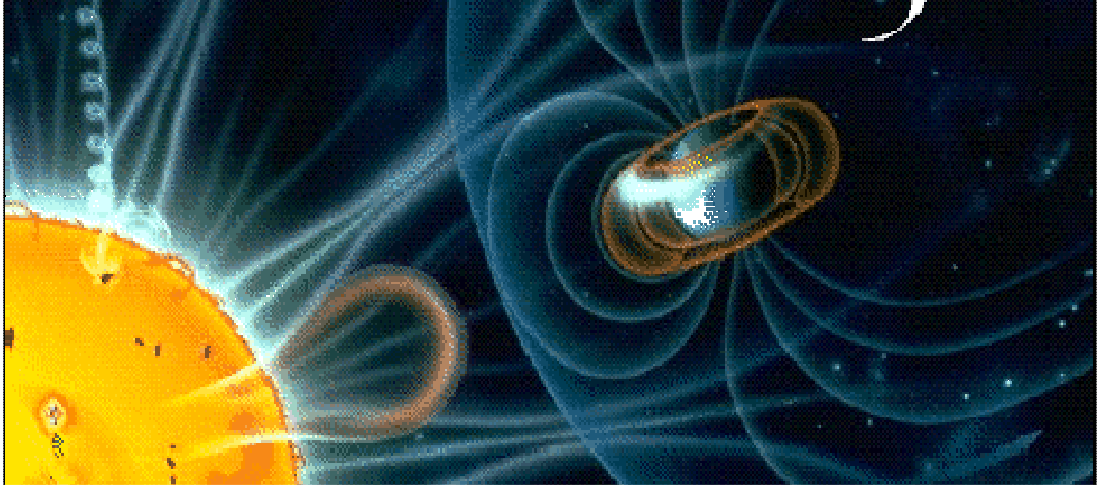
3.1.3.13. Geometrik Hesaplamalar.....	23
3.1.3.14. Yalıtılmış Dahili İletkenler.....	24
3.1.3.15. Elektriksel Alan Hassasiyet Sistemleri	24
3.1.3.16. İletkenlik Ölçümleri	25
3.1.3.16.1. Gerçek Hacim İletkenlik Kararlılığının Direkt Ölçümü..	25
3.1.3.16.2. İç Dielektrik Direkt Ölçümlerin Endüklenen İletkenlik Yan Etkileri.....	26
3.2. Tek Olayla Altüst Olma Durumları	27
3.2.1. Tek Olayla Altüst Olmayı Gerçekleştiren Nedenler	29
3.2.1.1. Galaktik Kozmik Işıma.....	30
3.2.1.2. Güneşten Gelen Protonlar.....	30
3.2.2. Tek Olayla Altüst Olma Durumlarının Uydular Üzerinde Oluşturabileceği Hasarlar.....	31
3.2.2.1. Tek Olayla Çökmenin Sebep Olduğu Yazılım Hataları ...	31
3.2.2.2. Tek Olayın Neden Olduğu Yazılım Hataları veya Donanım Arızaları.....	32
3.2.2.3. Tek Parçacığın Neden Olduğu Donanım Arızaları.....	32
3.2.3. Tek Parçacığın Çökmeye Sebebiyet Verdiği Durumlarda Kritik Elektrik Yüklenmesi.....	33
3.2.4. Büyük Kütleli İyonlar İçin Temel Basit Bir Model	35
3.2.5. Tek Olayla Altüst Olma Durumunun Pratik Hesabı	38
3.2.5.1. LET'e Karşın Kesit Ölçümünün Yapılması	39
3.2.5.2. Aygıt Hacminin Duyarlılığını Belirlemek	39
3.2.5.3. Aygıtın Hata Oranın Belirlemek.....	40
3.3. Toplam Doz Etkileri	42
3.4. Yapı Kusurları	46
BÖLÜM 4- UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN ETKİLERİNİN SONUÇLARI.....	48
4.1. Uydu İletişim Sistemleri.....	48
4.2. Haberleşme Uydularının Yapısı	49
4.3. Uzay Radyasyonunun Etkilerinin Sonuçları	50
4.3.1. Güç Kaynakları Üzerindeki Sonuçları	50

4.3.2. Uydu İç Yapısında Isı Kontrolündeki Sonuçları	54
4.3.3. Veri Aktarımındaki Sonuçları	56
4.3.4.Çevre Kontrolündeki Sonuçları.....	58
4.3.5. Spin Hareketi Üzerindeki Sonuçları.....	59
4.3.6. Sürüklenme Kuvvetini Oluşturan Etkenler	61
BÖLÜM 5–TARTIŞMA ve SONUÇ.....	64
Çizelgeler Dizini.....	I
Şekiller Dizini.....	II
Kaynaklar.....	III
Özgeçmiş.....	V

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Uzay çağının başlangıcından bu yana, uzay ortamı ve “uzay iklimi” hakkında oldukça geniş bir bilgi birikimi oluşmuştur. Bu bilgi birikimi sayesinde, uzay ortamındaki değişikliklere karşı büyük ölçüde dayanıklı uzay araçlarının üretilmesi mümkün olmuştur. Ancak yine de, bu uzay araçları belirli ölçülerde uzay ortamından etkilenmektedirler.

Halen bir uzay görevinin başarısına en büyük engeli, aracın uzaya fırlatılması ve uzaydaki yörüngesine oturtulması esnasında ortaya çıkan tehlikeler oluşturmaktadır. Uzay aracı bu yörüngede görevine başladıktan sonra, uzay aracını işleteceklerin, görevi tehlikeye atabilecek başka tehditlere karşı da, dikkatli olmaları gerekmektedir. Uzay iklimi de bu tehlikelerden biridir ve arızaları en aza indirmek ve uzay aracının sağlığını korumak için dikkatle gözlenmesi gerekmektedir.



Şekil 1.1. Dünya magnetosferi ve gezegenler arası ortam (<http://www.sec.noaa.gov/>)

Güneşle gezegenler arasında kalan bölge gezegenler arası ortam adıyla anılmaktadır. Bu ortam genel olarak mükemmel bir boşluk gibi düşünülse de güneş rüzgarının etkisi altında oldukça çalkantılı bir bölgedir. Güneş rüzgarı gezegenler arası ortamda saniyede 250-1000 km'ye ulaşan hızlarda akmaktadır. Güneş yüzeyi üzerinde büyük lekeler görülmeye, güneş patlamalarının, aktif fırlamaların (prominanslar), koronal deliklerin, koronal kütle atımlarının sayısı artmaya

başladığında güneş rüzgarının kimyasal bileşimi, yoğunluğu ve magnetik alan şiddeti artmaktadır. Gezegenler arasında akan güneş rüzgarıyla, gezegenlerin magnetik alanları farklı biçimlerde etkileşmektedirler. Dünyanın magnetik alanı, bir mıknatıs çubuğunu demir tozlarının içine bıraktığımızda bu tozların aldığı biçime benzemektedir (<http://bang.lanl.gov/solars/eng/homepage.htm>).

Dünyayı sarmalayan magnetik alan çizgileri, güneş yönünde güneş rüzgarının etkisiyle bastırılmış, ters yönde ise gezegenler arası ortama doğru uzanmıştır. Bu yapı dünyamızın magnetosferini oluşturmaktadır. Van Allen radyasyon kuşakları ve atmosferin üst katmanlarından iyonosfer, bu yapının içerisinde yer almaktadır. Güneşten gelen X-ışınlarının ve çok küçük dalga boyundaki morötesi ışınımın neden olduğu foto iyonizasyon sürekli olarak bu katmanda serbest elektronlar yaratmaktadır. Öte yandan dünyanın magnetik alanı, güneş rüzgarının magnetik alanının, yoğunluğunun ve hızının artışlarına da duyarlıdır. Güneş rüzgarındaki bu değişimler de, güneş aktivitesinin değişimlerine bağlıdır. Aktivitenin düşük olduğu yıllarda magnetosfer, gezegenler arası ortamda güneşe doğru 10 dünya yarıçapı kadar uzanmakta, oysa güneş aktivitesinin arttığı yıllarda güneş rüzgarının magnetosferi bastırmasıyla, magnetosfer sıkışmakta ve bu mesafe ancak 6.6 dünya yarıçapı kadar olmaktadır (<http://www.ngdc.noaa.gov/>).

Görüldüğü gibi magnetosfer dinamik bir yapıya sahiptir. Güneşten gelen güneş rüzgarının etkisi altında enerji kazanan magnetosferin içinde dinamizmi harekete geçiren süreçler başlamaktadır. Bu sürecin dünyada gözlenen sonucu magnetik fırtınalardır. Ayrıca güneş aktivitesinin değişimine bağımlı olarak kutup ışınması ve proton olayları da gözlenen sonuçlardandır (<http://www.ngdc.noaa.gov/>).

BÖLÜM – 2. UZAY RADYASYONU

İyonlaşmış parçacıklar daha düşük yoğunlukları ve daha yüksek enerjileri ile temel plazmadan ayrılmaktadır. Uzaydaki iyonlaşma radyasyonunu oluşturan enerjili parçacıkların asıl kaynağını aşağıdaki parçacıklar oluşturmaktadır.

- 1) Van Allen radyasyon kuşağı içine hücum eden protonlar ve elektronlar
- 2) Güneş sisteminin dışından gelen kozmik ışın protonları ve ağır iyonları
- 3) Güneşten gelen protonlar ve ağır iyonlar
- 4) Magnetosfer içine hücum eden ağır iyonlar

Magnetosfer içine hücum eden ağır iyonlar, tek bir iyonun temas ettiği yüzeye olan etkisi anlamına gelen ve tek olay etkileri (single event effects, SEEs) olarak adlandırılan durumlara neden olabilecek, yani; iyonlaşmayı oluşturacak kadar gerekli enerjiye sahip değildirler ve toplam iyonlaşma dozuna önemli bir katkı sağlamazlar. Elektronların ise, bu tür etkilere neden olup olmadığı tam anlamıyla bilinmemektedir. Genelde de olmadıkları görülmektedir.

Tek bir yüksek enerjili iyonun uzay aracına ait elektronik aletlerin veya herhangi bir parçasının yüzeyinde neden olduğu olağanüstü olumsuz etkiye “Tek Olayla Altüst Olma”(single event upset, SEU) ismi verilmiştir. Bu etkiye daha çok; galaktik kozmik ışınlar, güneşle ilgili kozmik parçacıklar ve Van Allen radyasyon kuşağı içine hücum eden protonlar neden olmaktadır.

(<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/spacerad.html>).

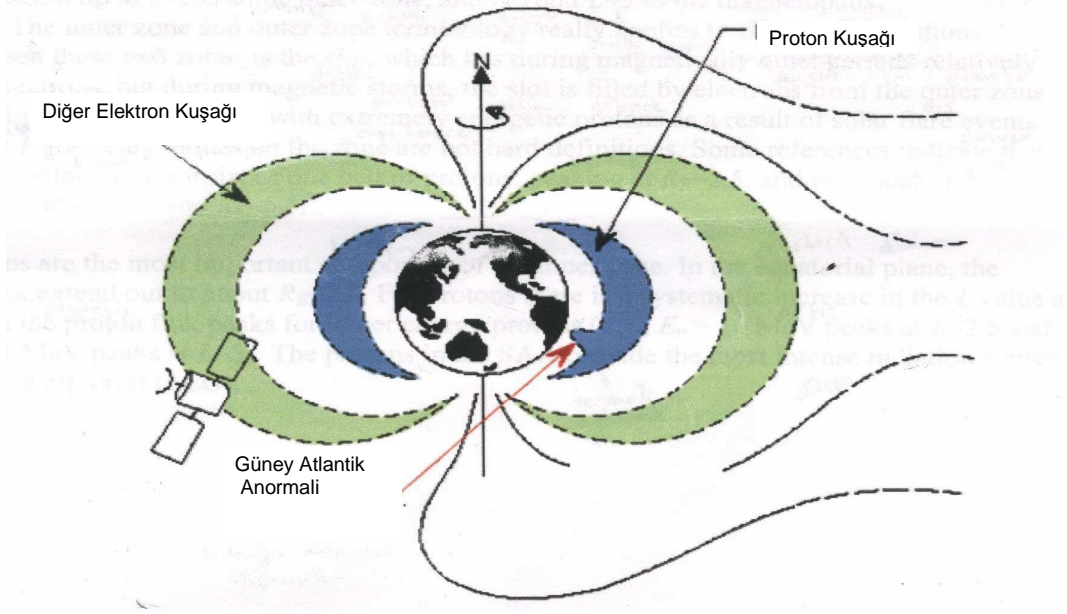
2.1. Tuzaklanma Radyasyonu

Dünyanın magnetosferi, tanım olarak; dünyanın manyetik alanının etkisi ile güneş rüzgarı adı verilen güneşten gelen hızlı parçacıkların oluşturduğu plazma akımının, saptırılarak engellendiği bölgedir. Magnetosferin en dışında, plazma akımının aniden yavaşlayarak hızının, ses hızının altına indiği ve yön değiştirdiği bir şok dalgası gözlenir. Dünyaya yaklaştıkça manyetik alanın etkisi giderek artar ve

güneşten gelen parçacıkların aşamayarak çevresinden dolaşmak zorunda kaldığı bölge, magnetosferin sınırını belirler. Güneşin etkinliğine göre, dünyaya uzaklığı değişen bu sınır değeri, güneş doğrultusunda dünyanın merkezinden yaklaşık 60.000 km. uzaklıkta bulunur ve dünyanın manyetik kuvvet çizgilerine uyumlu olarak ta, yanlara doğru genişleyerek dünyadan uzaklaşır ve bir damla biçimi alarak, dünyanın arakasında milyonlarca kilometre uzanan bir kuyruk oluşturur (<http://see.msfc.nasa.gov/ire/iretech.htm>).

Dünyanın magnetik alanına yakalanan elektrik yüklü parçacıkların toplandığı simit biçiminde iki ışınım kuşağı dünyayı çevreler. 1958 yılında, uzaya gönderilen ilk uydu olan Explorer I tarafından keşfedilen bu kuşaklar, Van Allen kuşakları olarak adlandırılmıştır. Dışta yer alan kuşak, güneşten gelen protonları, alfa parçacıklarını, oksijen iyonlarını ve serbest elektronları içerir. Dünya yüzeyinden yüksekliği, 10.000 ile 60.000 km. arasında değişen bu kuşağın en yoğun bölümü, yüksekliği 15.000 ile 19.000 km. arasında değişen bölümdür. İçte yer alan kuşak ise, kozmik ışınların iyonlaştırdığı atmosfer kaynaklı atomlar içerir. Yüksekliği 650 ile 6500 km. arasında değişen bu kuşak, dış kuşağa oranla çok daha güçlü bir ışınım kaynağıdır ve bu yükseklikte bulunan uyduların etkinlikleri ve uzay adamlarının sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmesi açısından önem taşır.

Van Allen kuşağı bir bütün olarak dünyanın her tarafını sarmaz. Bu bölge, dünyanın kuzey yarıküresinde, 75° kuzey enleminden 75° güney enlemine kadar uzanmaktadır. Güney yarıküresinde ise, 70° kuzey enlemden, 70° güney enleme kadar uzanmaktadır. Bu bölgelerde yüklü parçacıklar, manyetik kuvvet çizgisi boyunca bir yarıküreden diğer yarı küreye, yukarıya ve aşağıya olmak üzere spiral şekilde hareket ederler. Van Allen bölgesinin sınırlarından daha yukarı enlemlerde, dünyaya gelen parçacıklar bölgenin dışında kaldığı için yakalanamazlar. Bunlar manyetik alan çizgilerini takip ederek kutup bölgelerinden atmosfere girerler (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Magnetosfer>).



Şekil 2.1.Dünya çevresindeki radyasyon kuşakları
(<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/spacerad.html>)

Van Allen radyasyon kuşağı içinde tuzaklanmış parçacıklar Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Burada enerjileri 7 MeV’den düşük tuzaklanmış elektronlar da mevcuttur. Tuzaklanmış enerjili protonlar denizden yükseklikle ters orantılı olarak değişkenlik gösterir. Toplam iyonlaşma dozunu denizden yükseklik ve geomanyetik enlem etkilemektedir.

Kozmik ışınlar öylesine çok yüksek bir enerjiye sahiptirler ki, dünyanın manyetik alanını aşarak atmosferin üst kısmında bulunan parçacıklar ile çarpışırlar. Bu çarpışmalar sonucunda, nötronlar dahil olmak üzere, değişik parçacıklar ortaya çıkar. Nötronlar bir yüke sahip olmadıkları için, hareketlerine dünyanın manyetik alanı etki etmez. Nötronlar aynı halde kalan kararlı parçacıklar değildirler. Nötronların, protonlara ve elektronlara dönüşmesi için geçen zaman veya yarı ömürleri, sadece 15 dakikadır. Bir elektronun kütlesi çok küçük, bir protonun kütlesi ise, yaklaşık olarak bir nötronun kütlesiyle aynı olduğundan, bozunan nötronun hemen hemen bütün kinetik enerjisi, bozunmasıyla ortaya çıkan protona aktarılır. Burada, bozunmadan önce yukarıya doğru hareket eden, yani dünyadan uzaklaşan nötronlara “ albedo nötronları” denir. Nötronlar bozunur bozunmaz ortaya çıkmış olan yüklü parçacıklar, dünyanın magnetik alanı tarafından yakalandığı için bu

nötronların iç Van Allen kuşağında proton akışına sebep olduğu varsayılır. Güneşten gelen protonların da, bu bölgedeki proton sayısını önemli miktarda artırdığı kabul edilmektedir. Bir proton bir kere dünyanın magnetik alanında yakalandığı zaman, artık orada birkaç yüzyıl kalmak zorundadır (<http://helios.gsfc.nasa.gov/gcr.html>).

Dünyanın geomanyetik alanındaki tuzaklara, Van Allen radyasyon kuşağı içinde bulunan protonlar, elektronlar ve bazı ağır iyonlar gibi parçacıklar hücum eder. Bu parçacıklar, hücum sonrasında magnetik alan içinde tuzaklanır ve dünyanın magnetik alanını geriye veya ileriye doğru hareket ettirir. Magnetosfer içindeki bölgeler genellikle manyetik ekvatorial alan çizgi değerleri olarak adlandırılır ve L harfi ile belirtilir. RE parametresi, dünyanın yarıçapı olmak üzere, $L = RE$ değeri dünyanın yüzeyi olarak kabul edilmiştir. L parametresi McIlwain tarafından ;

$$L=RE/\cos^2(M) \quad (1.1)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada ; RE : dünyanın yarıçapı, M : geomanyetik enlemdir.

$L \approx 2,5$ bölgesi iç kuşaktır ve $L \approx 3$ 'den daha büyük bölgelerdeki magnetosfer dış kuşaktır. İç kuşak ve dış kuşak terminolojisi genellikle elektron popülasyonunda uygulanır. İki Van Allen kuşağı arasında 8000 mil yükseklikte “boşluk” denilen bir ara bölge bulunmaktadır. Bu bölgede yüklü parçacıkların iki kuşağa göre yoğunlukları daha azdır ve var olan bazı elektronlara rağmen bu bölge nispeten durgundur. Fakat magnetik fırtınalar esnasında, boşluk dış kabuktan gelen elektronlarla dolmaktadır. Aynı zamanda bu boşluk, güneş ışınlarının bir sonucu olarak enerjileri çok büyük olan protonlarla da dolabilir. Burada L sınır değeri kuşak üzerinde kesin olarak açıklanamaz. Bazı kaynaklar radyasyon kuşağını protonların bir kuşağından oluştuğunu açıklar ve protonlardan oluşan radyasyon kuşağının zirve değerini yaklaşık $RE \approx 2,5$ ve iki elektron kuşağının zirve değerini de $RE \approx 1,5$ ve $RE \approx 5,5$ arasında kabul eder.

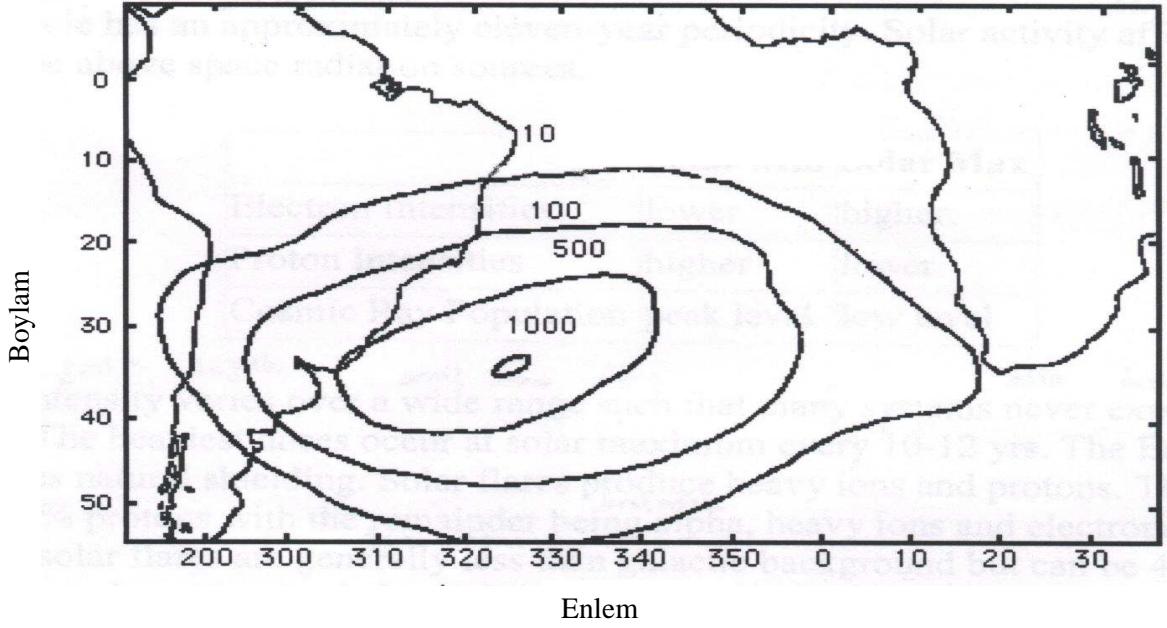
Protonlar iç kuşakta oldukça önemlidir. Ekvatorial düzlemlerde, protonlar yaklaşık 2,8 dünya yarıçapı kadar dışa yayılır. Burada düşük enerjili protonların L

değeri için sistematik bir artış vardır (Örneğin ; $E_p = 10$ MeV ise $L \approx 2,5$ ve $E_p=1$ MeV ise $L \approx 3$ 'dür). Protonlar Güney Atlantik Anormali içinde (SAA), düşük dünya yörüngesinde (LEO), çok daha güçlü radyasyon kuşağı oluşturlar.

Tablo 2.1. İç kuşak ile dış kuşaktaki elektronların ve protonların karşılaştırması

İç kuşak (< 2,5 RE)	Dış kuşak (> 2,5 RE)
Baskın proton değişimi gözlemlenir.	Dış kuşaktaki elektron değişimi iç kuşaktaki elektron değişiminden yaklaşık 10 kere daha fazladır.
Elektronların enerjileri 5 MeV'dan düşüktür.	Elektronların enerjileri yaklaşık 7 MeV'tur.
Elektron ve proton değişimi 1,5 RE ile 2,0 RE arasında	Elektron değişiminin zirvesi 5 RE

Dış kuşaktaki elektron değişim zirvesi, iç kuşaktaki elektron değişim zirvesine göre daha fazladır. Dış kuşak daha fazla değişim gösteren eş zamanlı yörüngeler içerir ve elektron değişimindeki büyük artışlar, genelde magnetik fırtınalardan sonra meydana gelmektedir. İç kuşaktaki elektron değişim düzeyi daha hafiftir. Ancak, iç kuşakta bazı elektronların enerji spektrumu 1 MeV'in üzerindedir.



Şekil 2.2. Denizden 440 km yükseklikte Güney Atlantik Anormali içinde 34 MeV üzerindeki enerjiler için proton eğrileri (http://setas-www.larc.nasa.gov/LDEF/RADIATON/rad_exp_enviro.html)

Deniz seviyesinden yukarılarda, enerjileri 0,1 ile 1 MeV arasında olan elektronlar, eş zamanlı ve bir denge unsuru olarak var olurlar. Çünkü alışılmış magnetik tedirginlik burada meydana gelir. $L \approx 5$ olduğunda, magnetik fırtınalar magnetosferin kuyruk kısmından sıcak plazmanın içine doğru akar (http://setas-www.larc.nasa.gov/LDEF/RADIATION/rad_exp_enviro.html).

2.2.Galaktik Kozmik Işınlr

Galaktik kozmik ışınların bileşimi, %85 oranında protonları, %14 oranında alfa parçacıklarını, %1 oranında nükleonları ve atom numaraları 4'ten büyük olan parçacıkları içerir. Fakat atom numaraları 26'dan büyük olan ağır iyonlar nadir olarak gözükür. Kozmik ışınlar, enerjileri 0 ile 10GeV olan parçacıkları içine alır. Ağır iyonların esas kısmı; hidrojen, helyum, karbon ve oksijendir. Bunların da enerjileri 1GeV civarındadır. Kozmik ışınlar tuzaklanmış parçacıklarla karşılaştırıldığında az değışkendirler, fakat enerjileri daha yüksektir (<http://see.msfc.nasa.gov/ire/iretech.htm>).

2.3.Güneş Işınları

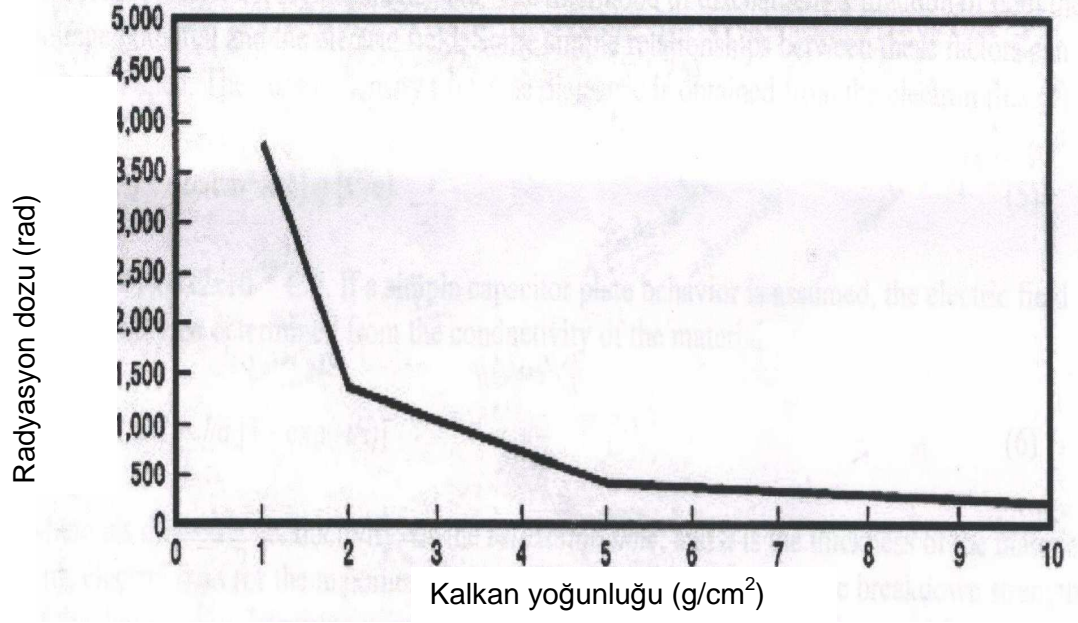
Güneş devri yaklaşık 11 yıllık periyoda sahiptir. Güneş aktivitesi her bir uzay radyasyon kaynağının üzerine tesir etmektedir.

Tablo 2.2.Güneş aktivitesi

	Güneş aktivitesi minimum	Güneş aktivitesi maksimum
Elektron yoğunluğu	Daha düşük	Daha yüksek
Proton yoğunluğu	Daha yüksek	Daha düşük
Kozmik ışın popülasyonu	Zirve seviyesi	Düşük seviye

En ağır dozlar güneş aktivitelerinin en büyük değerlere ulaştığı devrelerde meydana gelmektedir. Güneş ışınları ağır iyonlar ve protonlar üretir. Güneş ışınlarının yaklaşık %90'nı protonlardan, geri kalan kısmı alfa parçacıkları, ağır iyonlar ve elektronlardan oluşmaktadır. Güneşten gelen ağır iyon miktarındaki değişimler, galaksilerden gelen ışınlardakine göre daha azdır, fakat 4 kere daha fazladır. Ağır iyonların tayfı, galaktik kozmik ışın tayfından daha düşük seviyededir. Güneşten gelen tek bir ışında yaklaşık olarak 2×10^{10} p/cm² proton vardır ve bu protonların enerjileri, 10MeV ile 1GeV arasında değişmektedir. Güneşle ilişkili protonlar dünya yörüngesi ve derin uzay programları için önemlidir. Uzay programlarında kullanılan kalkanlar daha düşük enerjili protonlara karşı etkilidir.

Daha fazla yoğunlukta kalkan kullanımı, güneşten gelen protonlarla ilişkili radyasyonun dozunun azaltılması için zorunludur. Aşağıdaki şekil kalkan yoğunluğu ile radyasyon dozunu göstermektedir (<http://see.msfc.nasa.gov/ire/iretech.htm>).



Şekil 2.3. Radyasyon dozu ile kullanılacak kalkan yoğunluğu arasındaki ilişki
(<http://see.msfc.nasa.gov/ire/iretech.htm>)

BÖLÜM 3. UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN HABERLEŞME UYDULARI ÜZERİNE ETKİLERİ

Doğal uzay çevresinin yapmış olduğu etkileri, uzay radyasyonunu meydana getiren kaynaklara göre sınıflandırdığımızda genel olarak 4 şekilde gruplayabiliriz.

1. Uzay aracı yüklenmesi (spacecraft charging, S/C)
2. Tek olay etkileri (single event effects, SEEs)
3. Toplam iyonlaşma dozu (total ionizing dose, TID)
4. Yapı kusurları (displacement damage)

Uzay çevresinin klasik etkileri aşağıda belirtilen radyasyon kaynaklarına göre özetlenebilir :

Tablo 3.1.Uzay çevresinin radyasyon kaynağına göre klasik etkileri

(<http://parts.jpl.nasa.gov/asic/title.page.html>)

Uzay aracı yüklenmesi	Toplam iyonlaşma dozu	Yapı kusurları	Tek olay etkileri (single event effects, SEEs)
Plazmadan kaynaklanan yüzey yüklenmesi	Tuzaklanmış protonlar ve elektronlar	Protonlar Elektronlar	Protonlar: Her biri güneşten gelen tuzaklanmış protonlar
Yüksek enerjili elektronlardan kaynaklanan derin dielektrik	Güneşten gelen protonlar		Ağır iyonlar : Galaktik kozmik ışınlar ve güneşle ilgili etkiler

Aşağıdaki tablo uzay radyasyon çevresinin üç asıl bileşeninin (Radyasyon kuşaklarının tuzaklaması, galaktik kozmik ışınlar, güneş ışınları) elektronik cihazlar üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Tablo 3.2.Radyasyon kaynağına göre cihaz içinde meydana gelebilecek etkiler
(<http://parts.jpl.nasa.gov/asic/title.page.html>)

Radyasyon kaynağı	Parçacık türü	Cihaz içindeki başlıca etkiler
Radyasyon kuşaklarının tuzaklaması	Elektronlar	İyonlaşma zararı
	Protonlar	İyonlaşma zararı; hassas cihazlar içinde tek olay etkileri(single event effects, SEEs)
Galaktik kozmik ışınlar	Yüksek enerjili parçacık hücumları	Tek olay etkileri
Güneş ışınları	Elektronlar	İyonlaşma zararı
	Protonlar	İyonlaşma zararı, hassas cihaz içindeki tek olay etkileri
	Daha düşük enerjili / ağı parçacıkların yüklenmesi	Tek olay etkileri

3.1. Uzay Aracı Yüklenmesi

3.1.1. Yüzey Yüklenmesi

Yüzeylerin yüksek gerilimlerle yüklenmesi, uydular için ilk başlarda genellikle sorun yaratmaz. Ancak diferansiyel yüklenme nedeniyle ortaya çıkabilecek elektriksel deşarjlar yüzey maddesine zarar verebilecekleri gibi yarattıkları elektromanyetik gürültü nedeniyle elektronik donanımda da hasar yaratabilirler. Uydu etrafındaki düşük enerjili plazma parametrelerindeki değişiklikler, güneş ışınlarının fotoelektrik etkisi ile birlikte, yüzey yüklenmesinin büyük çoğunluğuna sebep olur. Plazmanın düşük enerjisi nedeniyle bu tür yüklenme uydunun iç bölümlerine doğrudan tesir etmez.

Yüzey yüklenmesi, genellikle geomanyetik fırtınalar sırasında meydana gelir ve doğru madde seçimi ve topraklama yöntemleriyle büyük ölçüde önlenir (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/spc-chrg.html>).

3.1.2. Derin Yalıtkan veya Kütle Yüklenmesi

Genelde yüksek yörüngelerdeki uydularda etkilidir. Yeryüzü, yüksek hızlı bir güneş rüzgarı akımına maruz kaldığı zamanlarda, Van Allen kuşakları, yüksek sığada ışık hızı mertebesinde hızları ve enerjileri yaklaşık 1MeV olan elektronlarla dolar. Bu elektronlar uydunun koruyucu dış yüzeyinden kolayca geçerek kablolar, baskı devre kartları, radyasyon kalkanları vb. yalıtkan maddelerde yük birikmesine neden olabilirler. Eğer bu sığaç benzeri yapılaşma uzun süreli olarak devam edecek olursa, aracın iç bölgelerinde elektrik deşarjları meydana gelebilir. Bu elektronların yüksek sığaları 11 yıllık güneş döngüsüne bağlı olarak değişim gösterirler ve daha çok döngünün sonlarında ve güneş döngüsünün minimum dönemlerinde daha yüksektirler. Bazen de güneşin kendi eksenini etrafında dönme süresi olan 27 günlük değişimler de oluşurlar (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>).

3.1.3. İç Dielektrik Yüklenmesi

İç dielektrik yüklenmesi, yüksek enerjili elektronların dielektrik malzemelere girmesi yoluyla meydana gelmektedir. Bu yüksek enerjili elektronlar çoğunlukla dünyanın Van Allen radyasyon kuşağı içinde tuzaklanmış halde bulunurlar. Normalde 10^{10} – 10^{11} elektron/cm² akısı, elektrik arkı için yeterli yüklenme oluşturacaktır. Bazı kaynaklara göre bu duruma yüksek bir olasılıkla derin dielektrik yüklenmesi, yüzey yüklenmesi ve tek bir olayla alt üst olma durumu (single-event upset, SEU) neden olur. İç yüklenmeyi azaltmakta kalkan kullanılabilir.

İç yüklenmede önemli olan iç dielektrik boşalmasının dielektrik malzemelere ve yarı iletkenlere zarar vermesidir. Gussenhoven uzay aracında olduğu gibi, hassas elektronik donanımı çalışamaz hale getirebilir. Daha çok uzay çevresinin derin dielektrik yüklenmesi, dielektrik arkı veya tek bir olayla alt üst olma durumları uzay

aracı anormalliklerine neden olmaktadır. Ancak yarı iletken yüzey yüklenmesi uzay aracı anormalliklerine neden olmamaktadır. Buna ek olarak, iç yüklenme meydana geldiğinde, yüksek enerjili elektronlar dielektrik malzemelerin içine girer ve burada hızla bir artma gerçekleşirse bir elektrik ark boşalması meydana gelir.

Energileri 100 KeV'tan büyük olan elektronlar uydu içerisine girerek dielektrik malzemeler, yalıtkan parçalar ve hareketli kondüktörler üzerinde negatif potansiyel oluşturabilirler. Elektronlar yalıtkan malzemeler içinde tuzaklanabilirler. İç elektriksel alan; eğer sızan yük, depolanan yüke oranla daha az olursa artar. 10^{10} – 10^{11} elektron/cm² mertebesindeki elektron akısı ark için yeterli yüklenme oluşturur. Ark, donanım kartları ve kablolar üzerinde pulslar halinde gözlemlenir. Puls genişliği genellikle nanosaniye aralığındadır. Yeterli potansiyel oluşursa, yarı iletken cihazlarda veya yakınlarında donanım arızaları veya çökmeler meydana gelebilir. İç yüklenme yarı iletkenleri etkileyerek; kabloları sarmalar, tel yalıtımı, donanım kartları, elektriksel bağlantı kablolarını besleyebilir.

Elektrik boşalması olasılığı potansiyel arkının ve elektriksel alanın bir fonksiyonudur. Bu faktörler arasında bazı bağlantılar kurulabilir.

Elektron değişkenliği (ϕ) dan da elde edilen dielektrik akım yoğunluğu (J)

$$J(A/cm^2) = \phi(e/cm^2)q(c/e) \quad (3.1)$$

burada ; $q = 1.6022 \times 10^{-19} c/e$ 'dir. Eğer sadece bir sığaç levhasının davranışı göz önüne alınırsa, elektrik alanının artışı, maddenin iletkenliğine göre belirlenebilir.

$$E(t) = V(t)/d = J/\sigma[1 - \exp(-t/\tau)] \quad (3.2)$$

σ : yalıtkan iletkenliği, τ : durulma zamanı ve d : maddenin kalınlığıdır. Bu elektrik alanı veya J/σ 'nın maksimum alanı, malzemenin yalıtkanlık bozma gücüne dayanıklılığı ile karşılaştırılarak elektrik arkının olup olmayacağına karar verilir.

Tablo 3.3. Yalıtkanlık bozma gücüne dayanıklılık

Şu anki emisyon	1 A	0.1 A	10^4 A
Şu anki taşma	0.01	0.001 A	10^{12} A
oran	1%	<1%	< 10 %

Saçılan parçacık ve plazma değişimi uydunun tamamını etkiler. GEO'nun -10 volt civarındaki akışının potansiyel değerleri, uzay deneylerinde kullanılan iyon tetikleyicilerinde ölçülmüştür (SCATHA ve ATS-6 gemilerindeki). Buradaki indüklenen plazma etkileşimleri, uyduların elektriksel yüklenme analizlerinde hesaba katılması gerekir (Public Review, 2006a).

3.1.3.1. Yüklenme ve Değişirme Etkileri

Yüklü iyonlar ile nötr iticiler arasındaki çarpışma işlemleri, plazma çekirdeğinin içinde, düşük enerjili itici iyonlar oluşturur. Elektriksel yüklenmenin etkisiyle oluşan iyonlar, plazma çekirdek potansiyeli yoluyla uydu yüzeyine doğru yansıyabilmektedir. Yüklenmenin üzerinde değişirme etkileri, karşılaşılan önemli farklılıklar sonucunda görev boyunca değişebilmektedir. Bu etkilerin sonucunda da biriken akım, uyduda kirlenmiş ve yüklenmiş alanlar oluşturabilir (Public Review, 2006b).

3.1.3.2. Nötr Parçacık Etkileri

Cihazlarda oluşan kirlilik; optik algılayıcılar, çok katmanlı izolasyon battaniyeleri ve güneş ekipmanları gibi elektrik cihazların kullanımında temel bir problemdir (Public Review, 2006c).

3.1.3.3. Akış Potansiyeli Üzerindeki Etkileri

Elektrik iticiler; büyük, değişken ve yüklü parçacıklar fırlatabilir. Sebep oldukları akım uydudan dışarı doğru akış potansiyelinde önemli bir etki yapar. Bu

etkiye karşı iticiler nôtürleyiciler ile birlikte çalıştırılırlar. Bunların ana fonksiyonu karşı sinyale karşı, eşit akımı korumaktır (Public Review, 2006ç).

3.1.3.4. Dahili ve Derin Dielektrik Yüklenmesi

Uydunun yüzeyindeki yüklenme hariç olmak üzere, dahili yüklenme dış uzaydan kaynaklanan elektrik artışını ifade eder. Pek çok sebeple içerde dielektriklenme meydana gelir. Sık sıkta derin dielektrik şarj oluşur. Bununla birlikte uydunun yalıtılmış iletkenlerinde de dahili şarj oluşabilir (Public Review, 2006d).

3.1.3.5. Yüzey Yüklenmesi İlişkileri

Yüzey ve derin elektrik şarjı arasındaki farklar, uydunun yüzeyinde belirgin olmayan dielektriklenmeye sebep olabilir. Genel bir analiz problemi olarak yüzeye yakın yerlerde ve daha içerdeki materyallerde yüklenme artabilir. Bununla birlikte iç kısımlar ve yüzey arasındaki yüklenmeye karşı, farklı davranılmasını gerektiren bazı geçerli sebeplerde mevcuttur. Yüzey şarjı birleştirilmiştir. Büyük akımların yaklaşık enerjileri 10KeV olan plazma populasyonlarında, genellikle zaman skalası kadar farklılaşma meydana gelir.

İkincil ve foto emisyonları büyük akımlarda dikkate alınması gereken ana unsurlardır. Küçük akımlarda foto emisyonu dikkate alınmaz, çünkü; ilgili bölge güneş ışığına maruz kalmaz. İkincil emisyon ise, genellikle önemsizdir. Birincil enerjiye göre ikincil enerji kazanımı düşüktür. İç kısımdaki iletilen akım, toplam akım dengesine önemli bir katkı da bulunur. Yüzeyde toplanmış akım ise, genel olarak akım akışına katkıda bulunur. Yüzeydeki akım nötralize olmaya meyillidir. Bundan dolayı da sadece toprak yüzeyinde etkilidir (Public Review, 2006e).

3.1.3.6. Arıza

İç kısımdaki yüklenmeler, elektrik alan veya elektrik arızaları şeklinde problemler yaratabilir. En hızlı elektronik devrelerin içindeki büyük geçici

yüklenmelere neden olur. Sonuç olarak, yalıtkan materyallerde kalıcı arızalara sebep olabilirler. Dielektrik arızası, yüksek elektrik alanlarında meydana gelir ve elektrik oluşturarak statik moleküllerde iyonizasyona sebep olabilir. Bu boşalmalar karakteristik olarak “Ağaç biçimli” boşalma şekli olarak isimlendirilmiştir.

Dielektrikler için tipik arıza 10 V/m civarındadır. Bununla birlikte laboratuvar deneylerinde daha düşük güçte olanları görülmüştür. Belki de, mikroskopik alan konsantrasyonuna bağlı olarak 10 V/m değeri aşılabılır ve tehlike seviyesi olarak elektrik boşalması gerçekleşir (Public Review, 2006f).

3.1.3.7. Yük Depolama

İç kısımdaki yüklenme, enerjileri 0,5 MeV üzerinde yüklü sızan elektronlar sebebiyle olur. Bunlar daha içerde veya daha dışarıdaki radyasyon kuşağında olabilir. Bununla birlikte yoğunluk dış radyasyon kuşağı seviyesindedir. Dış kuşak hayli hareketli ve elektron değişkenliği 2 MeV’den yüksektir. Burada özellikle dahili şarjlar tehlikeli seviyelere ulaşabilir. Uydu yörüngeleri genelde bu dış kuşağa uzaktır.

Dış kuşaktaki elektron değişkenliği en fazla, güneş döngüsü maksimumdayken meydana gelir. Radyasyon kuşağındaki elektronlar uydunun yüzeyinden sızarlar ve uydu içindeki materyallerde birikirler. Elektronların sızma derecesi, enerjilerine ve materyalin yoğunluğuna bağlıdır. Bu sızma miktarı Monte Carlo parçacık nakil kodları veya deneysel çıkarım formülleri kullanılarak doğru bir şekilde hesaplanabilir.

Bu formüller, Feather, Glendenin, Caryell, Catz ve Penfold ve Weber formülleri ile karşılaştırıldığında çok benzer sonuçlar vermekle beraber, Feather formülünde 400 KeV’in altındaki enerjilerde bir farklılık yaşanır. Weber formülünde sızma miktarı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$R = 0,55E \left[1 - \frac{0,9841}{(1 + 3E)} \right] \quad (3.3)$$

Bu formül ve Monte Carlo simülasyonları arasında mükemmel bir uyum vardır (Public Review, 2006g).

3.1.3.8. Madde İletkenliği

Elektriksel iletkenlik maddelerin dahili dielektrik şarjlarının kararlılık seviyesinde hayati bir rol oynar. Bir yüklenme akımı kararlılıkla uygulanırsa dahili elektrik alanı dengelenene kadar yükselir. Depolanan ve iletilen akımlar eşittir. Materyal katmanlarının kalınlığı d iken denge alanı maksimumdur. E_{max} , ohm yasası kullanılarak ta bulunabilir.

$$V = IR \quad (3.4)$$

$$E_{maks} = V / d = [(I / A)RA] / d = J / \sigma \quad (3.5)$$

Burada; V potansiyel, I Akım, R Direnç, J Akım yoğunluğu, θ iletkenliktir. Buradan $\theta = d / RA$ yazılırsa ;

$$J = I / A \text{ olur.} \quad (3.6)$$

Dahili şarj hesaplamalarının dielektriklerin iletkenliklerinde kararlı olmaması ne yazık ki, bir sorun oluşturur. Bunlar ısı, elektrik alan ve radyasyondan son derece etkilenirler (Public Review, 2006h).

3.1.3.9. Isı Bağımlılığı

Isının dielektrik materyallerinde büyük bir etkisi vardır. Daha yüksek sıcaklıklarda artan enerji mevcudiyeti elektronları tuzaklar. Elektronların iletkenlik bandının, kuantum durumuna geçişi artar. Bundan dolayı ısı iletkenliği artırır. İletkenlerde dönüş bağımlılığı gözlenir. İletkenlerin ısı bağımlılığı genellikle aşağıdaki gibidir:

$$\sigma(T) = \sigma_{\infty} \exp\left(-\frac{E_0}{kT}\right) \quad (3.7)$$

burada ; E_0 ; materyal bağımlılığı aktivasyon enerjisi , k ; boltzman kararlılığı, T ; Kelvin cinsinden sıcaklık, θ ; maksimum iletkenliktir ve T sonsuza yaklaştığında maksimuma ulaşır. Burada önemli olan E_0 'nın band boşluğunun değerlik bant ile iletken bant içinde ki aralığının büyümesidir. (Polietilen için E_0 , 1 eV civarındadır ve bant aralığı 8.8 eV civarındadır.) Açıkçası burada anlaşılması zor olan elektron ileri hareketinin hızlanmasıdır.

En fazla dielektrikler için E_0 değeri deneysel çalışmalarda 1 eV'ye yakın bulunur. Aşağıda bazı maddeler için aktivasyon enerjisinin değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. Bazı maddeler için aktivasyon enerjisinin değerleri
(Public Review, 2006ı).

Madde	E (eV)
PMMA (perspex)	1.7 eV
Polietilen	1.0 eV
Cam	1.3 eV

3.1.3.10. Elektriksel Alan İndüklenme Serbestliği

Alan iletkenliğinin artırılmasında, güçlü elektrik alanlarının sebep olduğu aktivasyonlar üzerinde ek taşıyıcıların olduğu kadar, artan taşıyıcıların hareketliliği de etkilidir. Adamec ve Calderwood'un 1975'te yaptıkları uygulamalarda en çok bu duruma rastlanır. Bu bilim adamlarına göre elektrik alanı ve iletkenlik arasındaki ilişki şöyledir.;

$$\sigma(E, T) = \sigma(T) \left(\frac{2 + \cosh(\beta_F E^{1/2} / 2kT)}{3} \right) \left(\frac{2kT}{eE\delta} \sinh\left(\frac{eE\delta}{2kT}\right) \right) \quad (3.8)$$

burada E , elektriksel alan, $\beta_F = \sqrt{\frac{e^3}{\pi\epsilon}}$, δ ise, kat edilen mesafe ve e ise, bir elektron yüküdür. Bu formül δ 'nın sabit deneysel bilgi parametresi olarak seçildiği durumlar hariç, teorik olarak geçerli ve gereklidir. $\phi(T)$ bağlantısı yukarıda tartışılan iletkenlerin üzerindeki ısı etkisidir. Adamec ve Calderwood , iletkenlik ve deneysel ölçümlerin arasında iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir (Public Review, 2006i).

3.1.3.11. Radyasyon Etkileri

Uzay ortamının radyasyon etkilerinin tespitinin yapılabilmesi amacıyla, ışınlama ile maddeye verilen doz oranı, uzay ortamında maddenin aldığı doz oranı ile karşılaştırılmaya çalışıldı. Özellikle deneylerde kullanılan polimerlerin iletkenliklerinin ışınlama altında bir artma gösterdiği gözlemlendi. Yapılan deneylerde iletkenliğin artma nedeni ışınlamanın elektronları iletim bandı seviyesine çıkarmış olmasıydı. Buradaki yüklenmenin oluşumu, enerji soğurulma oranı ile doğrudan bağlantılıdır ve dolayısıyla enerji soğurulma oranı da polimerler içindeki radyasyon oranı ile ilgilidir. Bu doz oranı enerjili elektronların, iyonların ve gamma ışınlarının sonucu olabilir.

İletkenlik basit denklem ile açıklanabilir. Burada σ , polimerlerin ışınlanmasıdır ve 1956 yılında Fowler tarafından geliştirilmiştir. Bu denklem aşağıda gösterilmektedir ve geniş bir alanda kullanılmaktadır.

$$\sigma = \sigma_0 + k_p D^\Delta |\Omega cm| \quad (3.9)$$

Burada ;

σ ; İletkenlik, k_p ; Yan etkili tam radyasyona neden olan iletkenlik madde bağımlılığı $|\Omega cm rad^\Delta s^\Delta|$ ve Δ ; birimsiz materyal bağımlılığı taraftarı ($\Delta < 1$).

Polimer olmayan maddelerde elektriksel iletkenlik camlardaki iyonik akımı elektrotlara elektron boşluklarında daha fazla göç ettirir, taşır. Sodyum iyonunun göreceli olarak yüksek hızda olması iletkenliğin büyümesini sağlar. İletkenlik artışında ışınlama gözlenmemiştir. Belki de sodyum iyon konsantrasyonuna hiç etkisi yoktur (Public Review, 2006j).

3.1.3.12. Zaman Bağımlılığı

Düzlemsel bir dielektrik için elektrik alanı dengeye, alan potansiyel zamanı ile ulaşır.

$$E = \frac{J}{Q} (1 - \exp \frac{-t}{T}) \quad (3.10)$$

Burada T zaman kararlılığıdır ve kullanılan bu formül düzlemsel kapasitör formülünün aynısıdır. Burada dielektrik malzemeler kararlı geçiş yapan materyallerdir. $E = \varepsilon/Q$ olmak üzere ; ε , dielektrik kararlılığıdır. İletkenlik değiştiğinde örneğin kalınlığı ; x , ise bu durumda ;

$$T = \varepsilon \int 1/\sigma(x) dx \quad (3.11)$$

dir. E_{\max} 'un T 'ye orantısallığı kolayca görülebilir.

Maddelerin uzun zaman boyunca kararlı kalmaları dahili şarjlarda tehlikeli olabilir. Normalde zaman kararlılığı bir gün veya daha uzun olduğunda malzemelerden şüphe edilebilir. T değeri, elektronların materyallerle entegrasyonu periyodunda ve elektron değişimlerinde etkilidir. Bundan dolayı bir günlük elektron ortalaması bize tehlikeli dahili şarj ortamının yeterli temposal çözümlemesini verir (Public Review, 2006k).

3.1.3.13. Geometrik Hesaplamalar

Dahili şarj, 1-d düzlemsel yapısında kolaylıkla hesaplanabilir. Bununla birlikte bu basit durumda iletkenlik, materyaldeki elektriksel alan değişmesi ve radyasyon indüklenmesinden etkilenecektir. Dielektriklerdeki elektriksel alan değişiklikleri ve maksimum elektriksel alanı denge durumu; dielektrikler ve alt katman iletkenleri arasındaki sınırdaki bulunur.

Kablo yalıtkanları genellikle 1-d silindirik simetrisi gösterir. Bir kablo için tek merkezi iletkenin silindirik şekli akım konsantrasyonunun merkeze yönelmesini sağlar. Eşit düzlemsel bölgelerde elektrik alanı artış gösterir. Yalıtkanlar için 3-d yapısı problemlidir. Maksimum elektriksel alanının hesaplanmasına ihtiyaç duyulduğunda 3-d modelinin akım ve elektrik alanları gereklidir. Bununla birlikte bu durumda maksimum elektriksel alan, dielektrik iletkenlik sınırında gerçekleşir (Public Review, 2006l).

3.1.3.14. Yalıtılmış Dahili İletkenler

İletkenler dahili elektriksel alanı destekleyemezler. Bununla birlikte yalıtkan iletkenler ile topraklı yüzeyler arasında yalıtkanlar bulunur. İşte bunlar elektriksel alanlarda akımın yeterinden fazla yükselmesini önlerler (Public Review, 2006m).

3.1.3.15. Elektriksel Alan Hassasiyet Sistemleri

Dahili şarjın elektriksel alanlarda etkilediği sistemler, hassas biçimde ölçülebilir. Fakat burada söz konusu yalıtım parçaları, bileşenleri yarı iletkenler veya yalıtılmış elektriksel iletkenlerdir. Üç eksenli hızlandırıcılar yalıtılmış iletkenleri hassas biçimde ölçebilir. Bu aletler hız veya yer çekimliliğinden aldıkları güç ile ölçüm yaparlar. ASTRE hızlandırıcısı, içine yerleştirilmiş elektrotlar arasını, metalik istasyon yöntemi ile belirlerler. Bir seçenek olarak test düzeneği serbest şekilde çalıştırılabilir.

Düzenleğe, herhangi bir elektrik yüklenmesinde sızan parçacıkların ürettiği elektrostatik güç, hızlandırmanın oluşturduğu güçten ayırt edilemeyebilir.

Bazı hızlandırıcılar iyi bir topraklama kullanırlar. Ama bu durum doğruluk derecesinin azalmasına neden olabilir. Bir seçenek olarak foto emisyonla yapılan durumda, boşalmada morötesi kaynak, iletken olarak kullanılabilir. Böyle bir alet dahili şarj sırasında sızabilecek parçacıklara karşı korumalıdır. Bu alışılmamış bir sistem özelliğidir. Burada enerjileri 100 MeV'den büyük olan sızan iyonlar en büyük tehlikeyi oluşturur. Geçmiş görevlerin tecrübesiyle sabittir ki ; Düşük seviyedeki dünya yörüngesinde (LEO) elektrik yüklenmesi, Güney Atlantik geçişlerinde çoğalmaktadır.

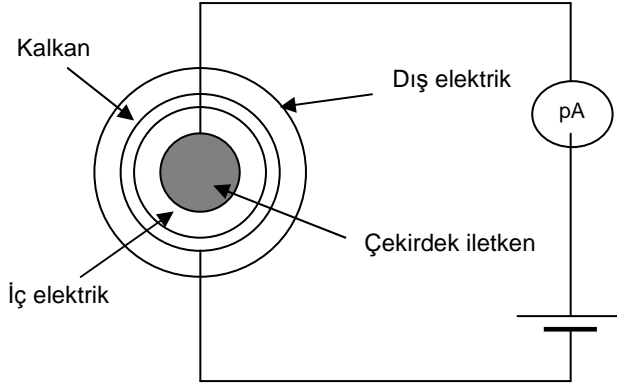
Dünya ile eş merkezli yörünge (GEO) görevlerinde güneşten gelen yüksek enerjili parçacıklardan kaynaklanan artışlar yaşanabilir. Aynı durum mikro elektro mekanik sistemlerde (MEMS), radyasyon indüklenmiş elektriksel alanlarda söz konusu olabilir. Bu sistemlerin elektronik ve mekanik bölümleri aynı yarı iletken çifte entegre edilmiştir. Bunlar SiO₂ veya Si₃N bileşiklerinden oluşan yalıtkan katmanlarını da kapsar. Elektron boşluklarındaki doza bağımlılığın oluşturulması, dielektriklerin şarj tuzaklanmasına neden olabilir.

Elektrik alanlarının kırılma seviyesine ulaşabilmesi için; bu katmanlar çok incedir. Daha küçük alanlarda bozulması performans üzerinde ciddi sonuçlar oluşturabilir. Mekanik parçaları proton ışınlanmasına maruz kalan 1-d mikro elektro mekanik sistem hızlandırıcısının yanlış sonuçlara ulaştığı görülmüştür. Fakat aynı problem benzer bir cihazda, dielektrik katmanları korumalı olduğunda iletken üzerinde yaşanmaz (Public Review, 2006n).

3.1.3.16. İletkenlik Ölçümleri

3.1.3.16.1. Gerçek Hacim İletkenlik Kararlılığının Ölçümü

Gerçek hacim iletkenlik kararlılığı, dielektrikler malzemelere 500V değerinde bir akım uygulandığında, hassas ölçümlerle gösterilebilir. Deney düzeneği düzlemsel örnekler için şekil.3.1’de gösterilmiştir. Koruyucu elektrotun yüzey iletkenlik etkilerini azaltmasına dikkat ediniz. Eş eksenli kablo kullanıldığında koruyucu elektrotlar azaltılmalıdır.



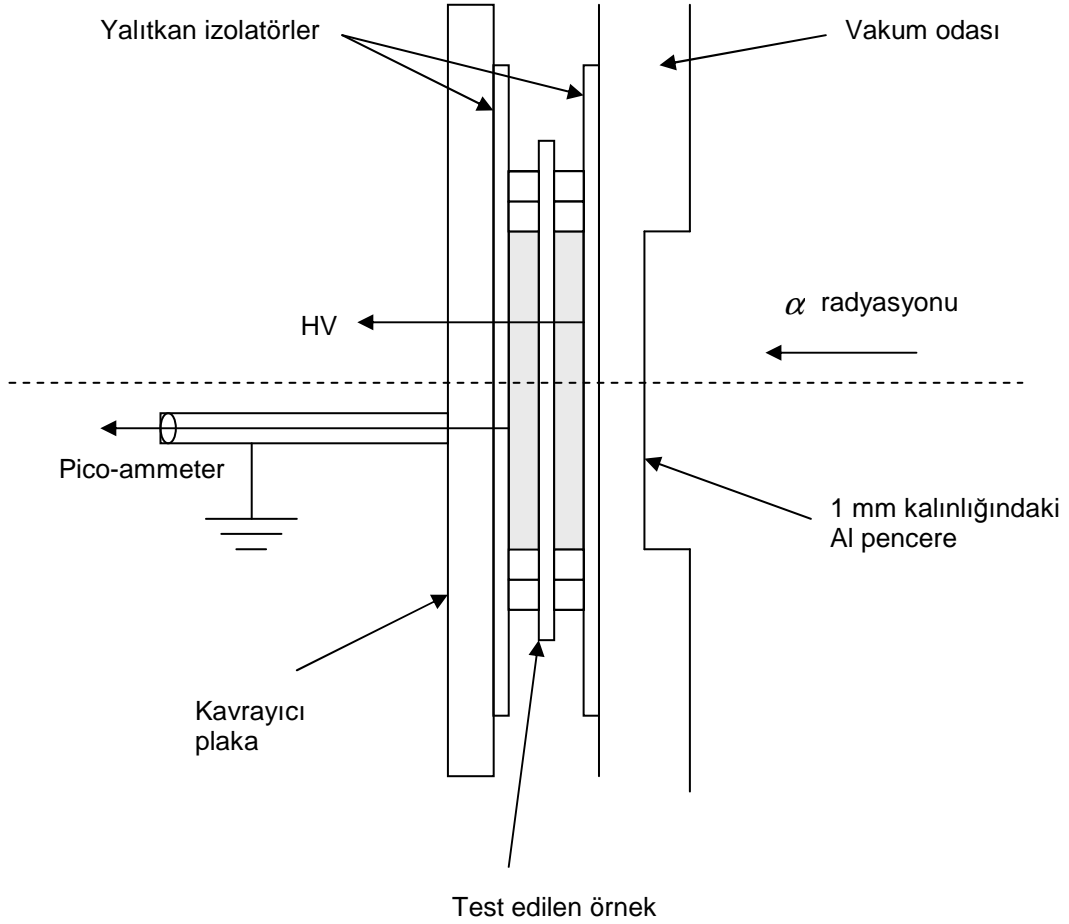
Şekil 3.1. İletkenlik kararlılığının ölçümü

Test, kaydedilen akımın denge değerlerine ulaşmasına dek devam etmelidir. Bu denge değeri hacme bağlı asıl hacim iletkenliğidir. Bu testte ekipmanların en düşük çalışma ısısı genelde -10 °C’dir. Bu testler aynı malzeme için tekrar yapıldığında, karşılaştırılma yapılabilmesi amacıyla başlangıçta kullanılan malzemeler kullanılarak yapılmalıdır (Public Review, 2006o).

3.1.3.16.2. İç Dielektrik Ölçümlerinin Endüklenen İletkenlik Yan Etkileri

İletkenlik ölçümleri gamma ışınları yayılımına uygun benzer örnekler kullanılarak devam etmelidir. Şekil 3.2’de buna bir örnek gösterilmiştir. İletkenliğin iyonlaşmış hava moleküllerinden ayrılması gerektiğinden teste kullanılan malzemenin havası alınmalıdır. Kaplama doz oranı aralığı 1 ile 100 rad arasında

değişmektedir. Eş eksenli kablo kullanılan deneylerde kablonun mühürlü çekirdeğinin hava içeriği test edilmelidir.



Şekil 3.2. Radyasyon altında devam eden düzlemsel iletkenlik testi

Testte, vakum oda duvarının sabitlenmesi elektrotların benzer malzemenin olması atom numaraları açısından dikkat edilmesi gereklidir. Aksi halde elektrotlardaki Compton saçılımı bozuluma uğrayarak, yanlış sonuçlar çıkmasına neden olabilirler (Public Review, 2006ö)

3.2. Tek Olayla Altüst (Çökme) Olma Durumları (Single Event Upset,SEU)

Enerjisi yaklaşık 50 MeV olan bir parçacık, uydunun koruyucu yüzeyini geçerek bir cihazın arıza yaratabilecek bir noktasına çarptığı zaman meydana gelirler. Etkileri cihazda basit bir bitlik hatadan elektronik parça bozulmasına (Latch-up) kadar çok değişik şekilde ortaya çıkabilir. Örneğin; yörüngeleri 1000 km'den düşük olan uydular zaman zaman yüksek sürüklenme etkilerine maruz kalarak yavaşlar ve alçalır. Bunun sonunda da tekrar atmosfere dönerek parçalanabilirler.

Bu etkiler yörünge alçaldıkça artar, güneşin morötesi ışınım miktarının değişimi ve geomanyetik fırtınalar sırasında ortaya çıkan atmosferin normalden fazla ısınması durumlarıyla doğrudan ilişkilidirler. Geomanyetik fırtınalar münferittir ancak büyük fırtınaların büyük çoğunluğu güneş döngüsünün dönemlerinde meydana gelir.

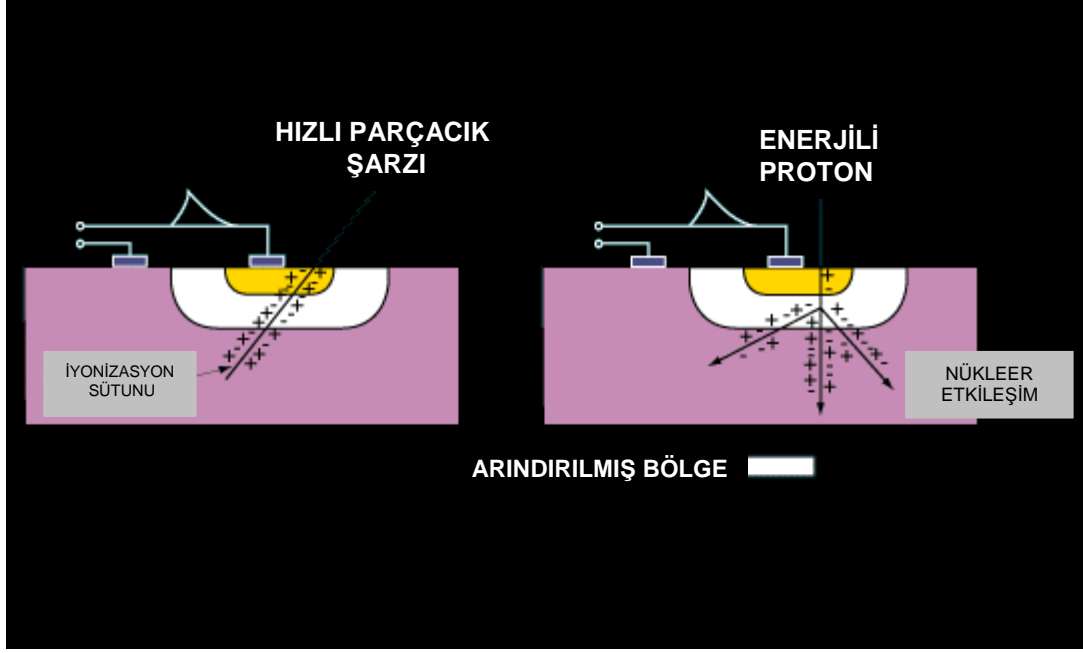
Radyasyonun cihazlar üzerinde neden olduğu olağan dışı etkileri, cihazların tasarımı sırasında göz önünde bulundurmaları gerekir. Tek olayla altüst olma durumlarına uzay çevresindeki genellikle iki farklı radyasyon kaynağı neden olur. Bunlar :

-Yüksek enerjili protonlar ve

-Kozmik ışınlardır. (güneşten gelen ya da galaksilerden gelen ağır iyonların bileşenleri)

Ağır iyonlar bir cihazda doğrudan iyonlaşmaya neden olur. Protonlar ise toplam iyonlaşma oranına özellikle düşük dünya yörüngesinde (LEO), büyük bir katkı sağlayabilir. Bir yüzeyin herhangi bir tarafının büyüklüğü $0,3 \mu m$ 'den küçük olduğu zaman doğrudan iyonlaşma nedeni ile tek olayla çökme oluşur. Protonlar tipik olarak doğrudan iyonlaşma yoluyla bir çökmeye neden olmayacaktır. Ancak daha ziyade cihazın hassas bölgelerinde karmaşık nükleer reaksiyonlar şeklinde etkili olacaktır.

Koparma; hedef çekirdekten iki veya daha fazla parçacığı nükleer tepkimelerle dışarıya atmaktır. Dışarı atıldıktan sonra oluşan ürünler geri tepkime iyonlarıdır. Öyle ki; ^{25}Mg , SEU'ya neden olabilir. Koparma tepkimeleri genellikle nötronları ve protonları içerir. Örneğin; $\text{Si}(n,\alpha)\text{Mg}$, $\text{Si}(n,p)\text{Al}$ [15], $\text{Si}(p,2p)\text{Al}$, ve $\text{Si}(p,p\alpha)\text{Mg}$. [16,17,18] vb



Şekil 3.3. Galaktik kozmik ışınların bir elektronik cihaz içinde enerjilerini bırakması

Güneşten gelen parçacıklar çok fazla SEU üretmektedir. Bir elektronik cihaz üzerindeki tüm SEU'ların %90'nı protonlar yoluyla üretilmektedir. Geri kalan %10'luk kısım ise, Gussenhoven uzay aracında olduğu gibi kozmik ışınlar yoluyla üretilmektedir. Elektronik cihaz üzerindeki temel durumda, çok fazla SEU, yüksek enerjili protonların nükleer etkileşimleri yoluyla meydana gelir. Doğrudan ne protonlar ne de kozmik ışınlar enerjilerini bırakmazlar, yani SEU'ları doğrudan oluşturmazlar. Düşük dünya yörüngesindeki uydular için protonların tuzaklanması ön plandadır. Özellikle Güney Atlantik Anormalinde bu durum daha fazla gözlenir ve uydular için en büyük tehdidi oluşturur. Bu durumdan dolayı Güney Atlantik Anormalinde uydular 30° güney enlem, 34.5° batı boylama yerleştirilir (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>).

3.2.1. Tek Olayla Altüst Olmayı Gerçekleştiren Nedenler

Tek olayla altüst olmaya neden olabilecek başlıca iki kaynak vardır. Bunlar :

3.2.1.1. Galaktik Kozmik Işıma

Uzaya fırlatılacak uydular, yapılarında hapsedecekleri radyasyon nedeniyle yıpranırlar. Bir uzay aracının bu etkilere ne ölçüde maruz kalabileceği ile ilgili çeşitli toplam doz modelleri mevcuttur. Galaktik kozmik ışına genel olarak sabit kabul edilebilir. Hapsedilmiş radyasyonun 11 yıllık güneş döngüsü ile ilgili değişimleri için de, yeterli kesinlikte modelleme yapılmıştır. Ancak tek olayla altüst olma durumları için, güneş döngüsünün dönemlerinde daha çok olmaları nedeniyle başka bir modelleme yapılması çok zordur.

Yüzeylerini delebilecek kadar yüksek enerjili parçacıklara maruz kalacak olan araçlarda, güneş panellerinin hücrelerinde düzeltilemeyecek hasarlar oluşabilmektedir. Büyük ölçekli tek olayla altüst olma durumları sırasında, güneş panellerinin güç üretme kapasiteleri belirgin şekilde azalabilir. Bu nedenle tasarım aşamasında güneş panellerinden elde edilecek güç konusunda belirli bir ek pay bırakılmalıdır.

Güneş, güçlü ve çok değişken bir geniş bantlı radyo dalga kaynağıdır. Güneşin yeryüzündeki bir alıcıya göre, bir uydunun yaklaşık 1 derece yakınında olduğu zamanlarda, eğer güneş büyük bir radyo dalgası atımında bulunursa, uydu ile yer arasındaki haberleşme kesilebilir. Bu tür durumlar genellikle güneş döngüsünün dönemine denk gelir (http://parts.jpl.nasa.gov/docs/Radcrs_Final.pdf).

3.2.1.2. Güneşten Gelen Protonlar

Büyük güneş patlamalarının ardından 30 dakika içerisinde enerjisi yüksek, yüklü protonlar dünyaya ulaşmaktadır. Enerjisi yüksek ve yüklü protonların sağanağı altına giren magnetosfer, protonların bir kısmını yakalayıp daha da hızlanmalarına

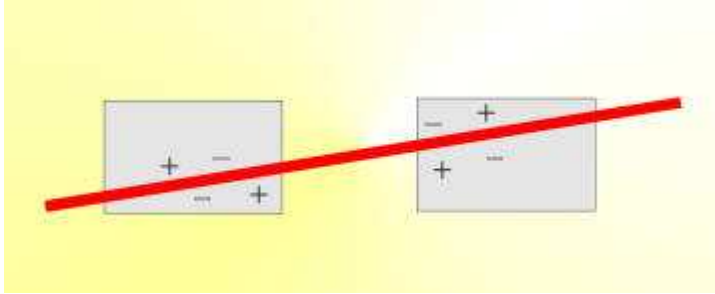
yol açmaktadır. Hızlanan bu protonlar atmosferin üst katmanlarına kadar sızılmaktadırlar (http://parts.jpl.nasa.gov/docs/Radcrs_Final.pdf).

3.2.2. Tek Olayla Altüst Olma Durumlarının Uydular Üzerinde Oluşturabileceği Hasarlar

Tek olayla altüst olma durumları uydular üzerinde üç farklı biçimde hasar oluşturabilir. Bunlar :

3.2.2.1. Tek Olayla Çökmenin Sebep Olduğu Yazılım Hataları

Tek olayla altüst olma durumları NASA tarafından, uyduların veya diğer uzay araçlarının elektronik parçalarına, cihazlarına hücum ettiği zaman, mikro elektronik devrelerde hatalara neden olan radyasyon olarak tanımlandı. SEU'lar içinden geçtikleri araçlarda iyonlaşma yoluyla enerji kaybederler ve arkalarında uyarılmış elektron boşlukları bırakırlar. Bu durum geçici yazılım hatalarına ve tanımlanamaz hatalara neden olur.



Şekil 3.4. Radyasyonun madde içinden geçişi (<http://www.spacerad.com/>)

Meydana gelen arızanın düzeltilebilmesi için cihazın tekrar çalıştırılması veya donanımın tekrar yüklenmesine ihtiyaç vardır. Cihaz ancak bundan sonra normal olarak çalışır. Bir SEU analog, dijital veya optik bileşenlerde meydana gelebilir veya çevredeki arabirim ünitelerine etki edebilir. Bir çok parça içinde meydana gelen SEU'lar tipikçe ; geçici olarak mantık devrelerine, hafıza hücrelerine veya kayıt cihazlarına kısa süreli darbe vurur. Bir çok parça içindeki SEU'lar iki veya daha fazla eş zamanlı hatalara neden olur ve farklı parçalarda meydana gelen hataları

belirlemek ve düzeltmek neredeyse olanaksız hale gelir. Şiddetli SEU, cihazların işlevsel akışlarını, kontrol devre bölgelerini tanımsız duruma getirerek durdurabilir. Cihazın normal duruma gelmesi için, bir güç resetlemesine ihtiyaç duyulabilir (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>).

3.2.2.2. Tek Olayın Neden Olduğu Yazılım Hataları veya Donanım Arızaları

Kolosinski uzay aracında olduğu gibi, cihazın işlevsel fonksiyonlarının kaybına neden olur. Bu durum ilk olarak 1979 yılında yer etrafındaki gözlemlerde gözlemlenmiştir. Tek olayın neden olduğu yazılım hataları veya donanım arızaları yıkıcı potansiyellerdir. Sürekli zarara neden olabilir. Cihazı kilitleyebilir veya güç kademesine zarar verebilir. Aslında buradaki sorun ağır iyonların yakalanmasıdır. Bununla birlikte, çok hassas aygıtlar içinde protonlar da yakalanabilir. Aygıtın normal bir biçimde çalışması ancak, gücün resetlenmesi ile olabilmektedir. Ancak güç hızlı bir şekilde geri alınmazsa, yıkım arızası aşırı ısınma olacağından oluşabilir veya bağlantı hataları meydana gelebilir. Tek olayın neden olduğu yazılım hataları veya donanım arızaları, güçlü sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta azaldığı gözlemlenmiştir (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>).

3.2.2.3. Tek Parçacığın Neden Olduğu Donanım Arızaları

Tek parçacığın neden olduğu donanım arızaları, direkt olarak bir uç transistörünün içinde meydana gelebilen ve aygıtın yıkımına neden olabilecek bir durumdur. Aygıtta sürekli arızalara, gücün kesilmesine ve gürültünün artmasına neden olur. Genelde gücün kesilmesini sağlama çabasıdır. Bunu ise yüksek voltajın akmasını sağlayarak yapmaktadır.

Bu durum ilk olarak Waskiewict' te 1986 yılında ortaya çıkmıştır ve burada sadece gücün, n. kanalındaki donanım arızası rapor edilmiştir. Tek parçacığın neden olduğu donanım arızalarının sıcaklığın artırılması ile azaltılabileceği görülmüştür (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>).

3.2.3. Tek Parçacığın Çökmeye Sebebiyet Verdiği Durumlarda Kritik Elektrik Yüklenmesi

Doğrusal enerji transferi (LET) ; bir maddeden geçerek yol alan enerjileri yüksek, yüklü bir parçacığın birim yol uzunluğunda bıraktığı enerji olarak tanımlanır. (Normal olarak LET, dE/dx ile tanımlanır.) SEU çalışmalarında kullanılan ve $(dE/dx)/\rho$ ile tanımlanan LET gücü madde yığıny veya kütlesi tarafından durdurulur. Burada ρ , maddenin yoğunluğudur.

Bu sonuçlar maddenin MeV/(mg/cm²) birimi içindeki LET'dir ve bu yoğunluk kalınlığındaki enerji kaybıdır. Yoğunluk kalınlığı (t_d), madde yoğunluğunun ürünüdür. Maddenin kalınlığı t ise, $t_d = \rho \cdot t$ dir. Bu yüzden yoğunluk kalınlığı, elektronların (elektronlar/cm²) yoğunluk yüzeyi olarak tanımlanır. LET, parçacığın enerjisine ve parçacığın madde içinden geçmesine bağlıdır.

Bir cihazın tek olay etkilerine (SEE) dayanıklılığı, doğrusal enerji transferi (LET) tarafından belirlenir. LET'nin sebep olduğu tek bir olaydaki 10⁷ iyon/cm² üzerindeki parçacığın etkisi, LET de minimum olarak belirir. Tek olay etkilerine (SEE) dayanıklılık, LET > 100 MeV·cm²/mg [28] (demir eşiğı başlangıcı) olduğu zaman gözlemlenmektedir. Düşük LET durumu ise, proton hassasiyetini gösterir. Genel olarak bir cihazın SEE dayanıklılığına karar verebilmek için kullanılan LET > 100 MeV·cm²/mg değeri, cihazın SEU dayanıklılığına karar vermek amacıyla da kullanılabilir. Eğer bir cihazda SEU dayanıklılığı yoksa, cihaz aşağıdaki SEU oran ve etkileri yönünden incelenir.

Tablo 3.5. SEU dayanıklılığı olmayan bir cihazın SEU oran ve etkileri yönünden incelenmesi

Cihaz LET	Çevresel etki
<10 MeV·cm ² /mg	Kozmik iyon ışınları, tuzaklanmış protonlar, güneşten gelen protonlar
10 - 100 MeV·cm ² /mg	Kozmik iyon ışınları
>100 MeV·cm ² /mg	Analiz gerekmez

LET genellikle cihaz sayısının artmasıyla artar. SEU kararsızlığı ise, cihaz boyu ve güç azaltımı, hat kararlılık artışı, yükseltilmiş hafıza ve hız gibi durumlarda yükselecektir. Bu durum kolaylıkla basit bir cihaz sığası (C) üstündeki iyonize parçacık yığınlarının yeterli şarzında (Q) sonuç voltajının değişmesiyle görülebilir. Yani $LET > Q_{kritik}$ olduğu zaman SEU gözlenebilir.

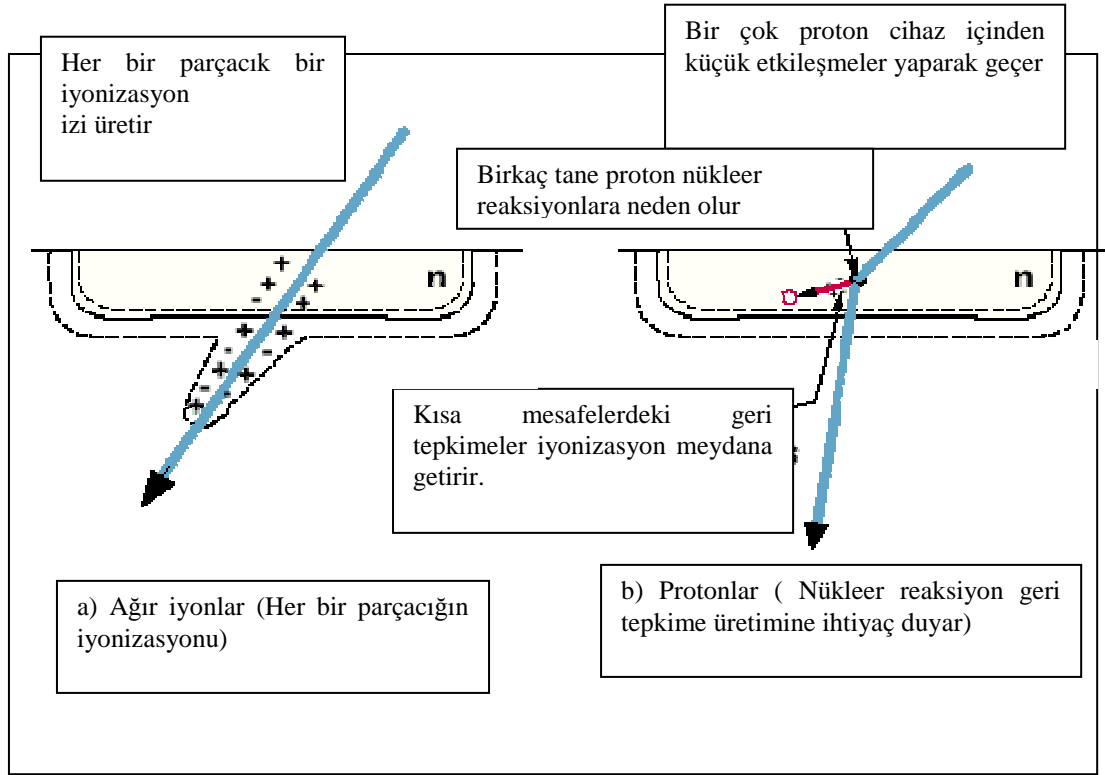
İhtiyaç duyulan voltaj üretim değişikliği (ΔV) bir SEU nun üretimi için yeterlidir. Matematiksel olarak;

$$LET \propto \Delta V = Q/C \quad (3.12)$$

Aktif cihaz boyutunda düşüş olduğunda kapasite düşecek ve böylece gerekli SEU'ya neden olacaktır. Cihaz derinliği genel olarak değişmez. Uzunluk ve derinlik ise azalır. Bir cihazı kare boyutunda düşündüğümüzde, $L \times L$, deki kritik değişme, boyun karesiyle ($Q_{kritik} \propto L^2$) orantılıdır. Robinson şimdiki durumda ölçülen kritik elektrik yüklenmesini bir IC sayısı için matematiksel olarak

$$Q_{kritik} = (0.023 \text{ pC}/\mu\text{m}^2) L^2 \quad (3.13)$$

şeklinde tanımladı.



Şekil 3.5. Mikroelektronik parçacıklar üzerinde uzay radyasyonunun etkileri

(<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>)

3.2.4. Büyük Kütleli İyonlar İçin Temel Basit Bir Model

SEU'nun çok basit bir modelinde; paralel borular biçiminde bir aygıtın LET durumu, SEU tarafından kullanılabilir ve LET davranışı gösterebilir. Burada enerji birikiminin hesaplanmasıyla, (E_{dep} , bir parçacık geçişidir ki geniş bir yol boyunca hassas bir alet hacmi içerir)

$$E_{dep} = LET \cdot s \quad (3.14)$$

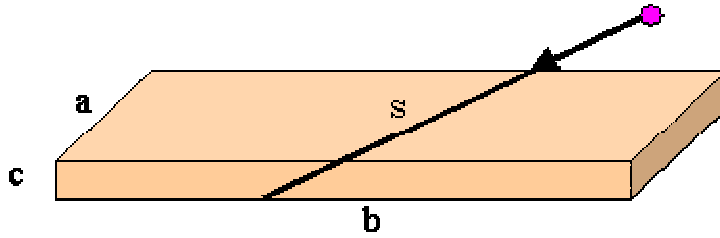
Depozit şarjı bulunabilir. Depozit şarjı elektron boşluğunda üretilen enerji miktarına bağlıdır. $w_{ehç}$, bir çift elektron boşluğu olmak üzere depozit şarjı aşağıdaki biçimde verilir.

$$Q_{dep} = E_{dep} q / w_{eh\check{c}} \quad (3.15)$$

Birkaç element için; $q=1.6022 \times 10^{-19}$ coulombs/e ve $w_{eh\check{c}}$ olmak üzere aşağıdaki değerler verilmiştir.

Tablo 3.6. Bazı maddeler için elektron boşluk çiftinde üretilen enerji miktarı

Madde	Ge	Si	GaAs	SiO ₂	Si ₃ N ₄	Al ₂ O ₃
Tür	Yarı iletken	Yarı İletken	Yarı İletken	Yalıtkan	Yalıtkan	Yalıtkan
Atomik/Moleküler Ağırlık	72.6	28.09	144.63	60.08	140.27	101.96
Yoğunluk (g/cm ³)	5.33	2.33	5.32	2.27	3.44	3.97
Elektron boşluk çiftinde üretilen enerji (eV)	2.8	3.6	4.8	17.	10.8	19.1



şekil 3.6. Büyük ktelli iyonlar için paralel borular biçiminde bir aygıt modeli

Basit bir yaklaşımla birinci sıradaki tahmini LET ihtiyacı sebebiyle bir SEU hesaplanabilir. Paralel boruların ölçüleri a , b , c olarak düşünüldüğünde, c cihazın derinliğidir. Minimum LET alışverişi maksimum yol genişliği ile mümkündür ve s_{max} , paralel borularda diagonaldır.

$$s_{max}^2 = a^2 + b^2 + c^2 \quad (3.16)$$

Bir çökmenin oluşması için gerekli minimum LET aşağıdaki biçimde verilebilir;

$$LET = Q_{kritik} w_{ehç} / (q \cdot s_{max}) \text{ dir.} \quad (3.17)$$

Minimum LET gibi, minimum bir mesafe vardır. s_{min} , da bir parçacık olarak verilen LET, SEU'da yeterli enerji birikimini sağlamadan önce, bir yola çıkması gerekir.

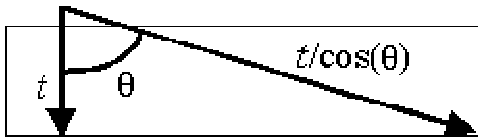
$$s_{min} = Q_{kritik} w_{ehç} / (q \cdot LET) \quad (3.18)$$

Bir parçacığın çökme olaylarını meydana getirebilmesi için aygıt üzerine belirli bir açıyla gelmesi gerekir. Bu açı LET için kritik açı olarak bilinir ve θ_c ile gösterilir.

$$\cos(\theta_c) = LET / LET_C \quad (3.19)$$

Çökmeleri üreten parçacıklar θ_c ve $\pi/2$ arasındadır. Bu yüzden burada iki potansiyel durum vardır. (Not; $LET_C < LET$)

1. Eğer $LET > LET_C$, ise ; tüm olaylarda parçacıklar çökme üretirler.
2. Eğer $LET < LET_C$, ise ; burada bir kritik açı vardır. ve θ_c , açısı kritik açıdır. Bu açının üzerinde açılara sahip parçacıklar çökmeleri oluşturabilirler.

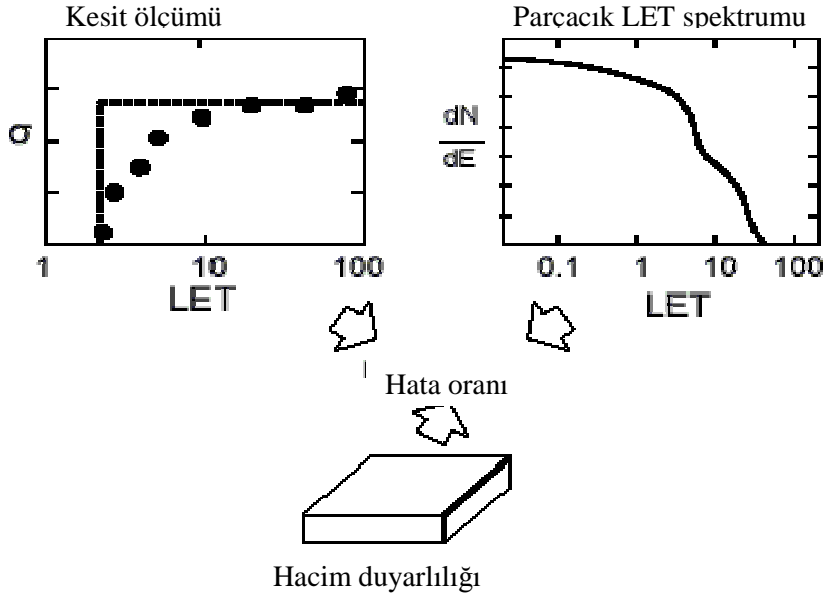


Şekil 3.7. Bir θ açısında birbirine paralel parçacıkların olayları

Bir θ açısındaki bir yolda, paralel parçacık olayları için $1/\cos(\theta)$ normal olaylardaki yoldan daha uzundur. Öyle ki, daha fazla iyon üretilebilir. Burada kosinüs kanunu aynı durumlar içinde başarısız olur ve her bir cihaz teknolojisi için kontrol edilmelidir (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>).

3.2.5. Tek Olayla Altüst Olma Durumunun (SEU) Pratik Hesabı

Çökmenin (altüst olmanın) oranı günlük hatalar veya parçadaki günlük hatalar olarak rapor edilebilir. Cihazdaki hata oranı 10^{-8} hata /miktar –gün mertebesinde olabilir.

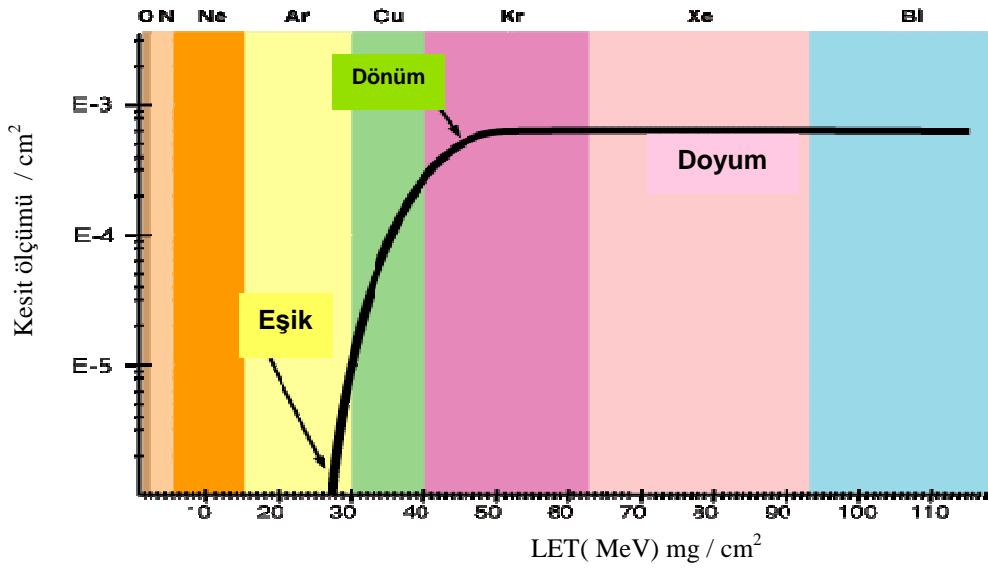


Şekil 3.8. SEU'ların hesaplanma yöntemleri (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>)

SEU oranının hesabında üç temel adım vardır.

3.2.5.1. LET'e Karşı Kesit Ölçümünün Yapılması

Bu ölçüm gaz pedalı testi olarak bilinir. Burada aygıt kesiti, parçacığın çökme gerçekleştirme sayı oranı olarak tanımlanır. Deneysel olarak kesit kararı parçacığın enerjisinin işidir ve enerjiden tespit edilir.



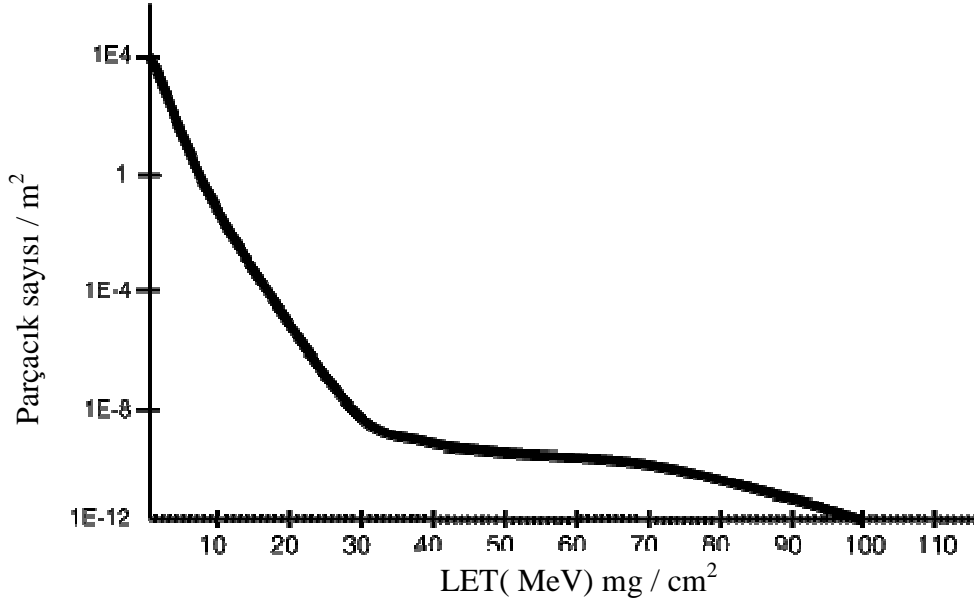
Şekil 3.9. LET'e karşı kesit ölçümü (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>)

3.2.5.2. Aygıt Hacminin Duyarlılığını Belirlemek

Hassasiyet hacmi aygıtın gerçek fiziksel hacminden daha küçüktür ve ayrıca hassasiyet hacmi genellikle tek olay etkileri (single event effects, SEE) için; tek olayın neden olduğu yazılım hataları veya donanım arızaları kadar, ağır iyonlar ve protonlardan farklıdır. Hassasiyet geometrisi çok zor karar verebilecek parametrelerdendir.

3.2.5.3. Aygıtın Hata Oranını Belirlemek

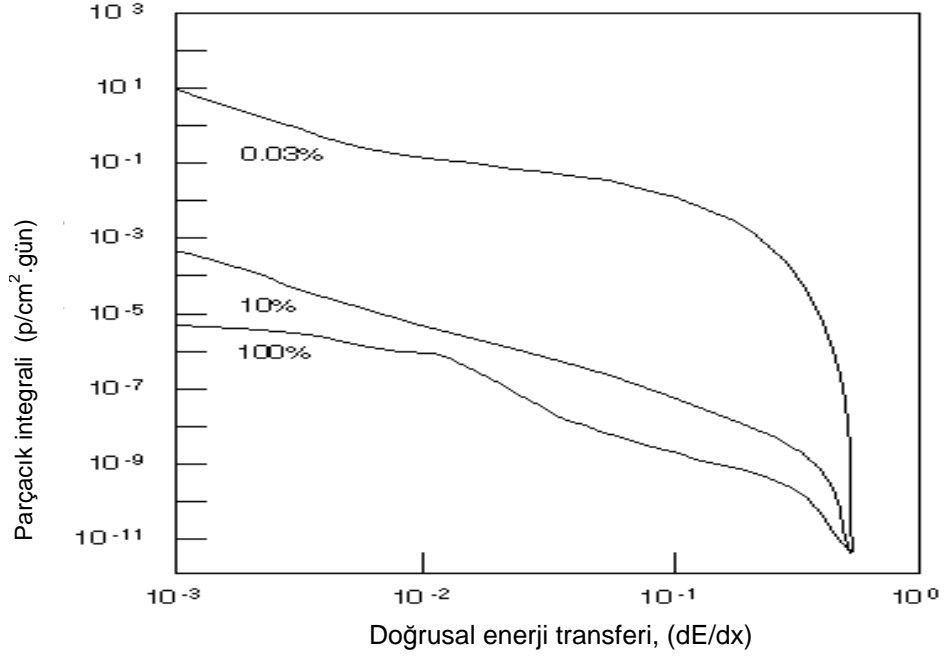
Aygıt hata oranına karar verebilmek için kesit aygıt hacminin hassasiyeti ile LET tayfı birleştirilir.



Şekil 3.10. 400 km'lik bir yörünge için LET tayfının integrali

(<http://www.aero.org/capabilities/seet/primer.html>)

Düşük dünya yörüngesi (LEO) üzerindeyken, iç kuşak protonları en önemli kaynaklardır. LEO uyduları için, tuzaklanmış protonlar özellikle Güney Atlantik Anormallikleri içinde en büyük, tek olay etkilerini oluşturabilecek tehditleridir. Dünya ile eş merkezli yörüngedeki (GEO) uydular için ise, kozmik ve güneş parçacıkları tek olay etkilerine neden olabilir.



Şekil 3.11. Doğrusal enerji transferi (<http://parts.jpl.nasa.gov/asic/title.page.html>)

Heinrich eğrisi şekil 3.11’de dünya ile eş merkezli yörüngede (GEO) kaybedilen enerjinin integralini gösterir. % 100 eğrisi güneşle ilgili maksimum koşula uyar ve çevre daha da kötüdür. % 10 eğrisi güneşle ilgili minimum kozmik ışınların kombinasyonu ve güneşle ilgili proton aktivitesidir. Öyle ki, çevre zamana göre yalnızca % 10 nu kadar kötüdür.

% 0,03 eğrisi daha büyük, güneşle ilgili normal olmayan ışına uyar. Önemsiz sayılan radyasyon kuşaklarının dış kenarındaki protonlardan beri, galaktik kozmik ışınlar, GEO değişimini gerektirir. SEU hata oranı ifadeleri kesit için, akor yayılma kullanılarak elde edilir. Sonra değişim integre edilir ve enerjinin sırası üzerindeki kesit için LET “değer şekli ” % 10 çevresel sonuçlar için hata oranının formülü

$$R = 5 \times 10^{-10} \sigma_{\text{sat}} / (\text{LET}_{\text{kritik}})^2 \quad (3.20)$$

şeklinde yazılır.

Buradaki R; bit –gün içindeki SEU hata oranı, σ_{sat} ; μm^2 içindeki SEU kesiti ve LET_{kritik} ; :PC / Mm'nin birimi içindeki kritik LET'dir.

Çizimin amacına yönelik olarak, hata oranına, 3.20 denkleminde; $\sigma_{sat}=ab$ ($a,b \gg c$) ve $LET_{kritik}=Q_{kritik}/c$ kullanılarak değer biçilebilir. Buradaki c, silikon aygıtının derinliği a ve b, onların mikronlar mertebesindeki kenarlıklarıdır. 3.20 denklemi bir sınır hesabını sağlar ve bu ifade kullanılarak özellikle güneş ışınları için aşağıdaki hata oranları elde edilebilir.

Tablo 3.7 Hata oranları

Çevre	Çarpanlar
Pedersen modeli (Merih'in SEU şekli)	1,0
Galaktik model (güneş döngüsünün devresi)	0,44
Olağan ışın	13
%90 en kötü ışın	33
Olağan olmayan çok büyük ışın	500

3.3. Toplam Doz Etkileri (total ionizing dose, TID)

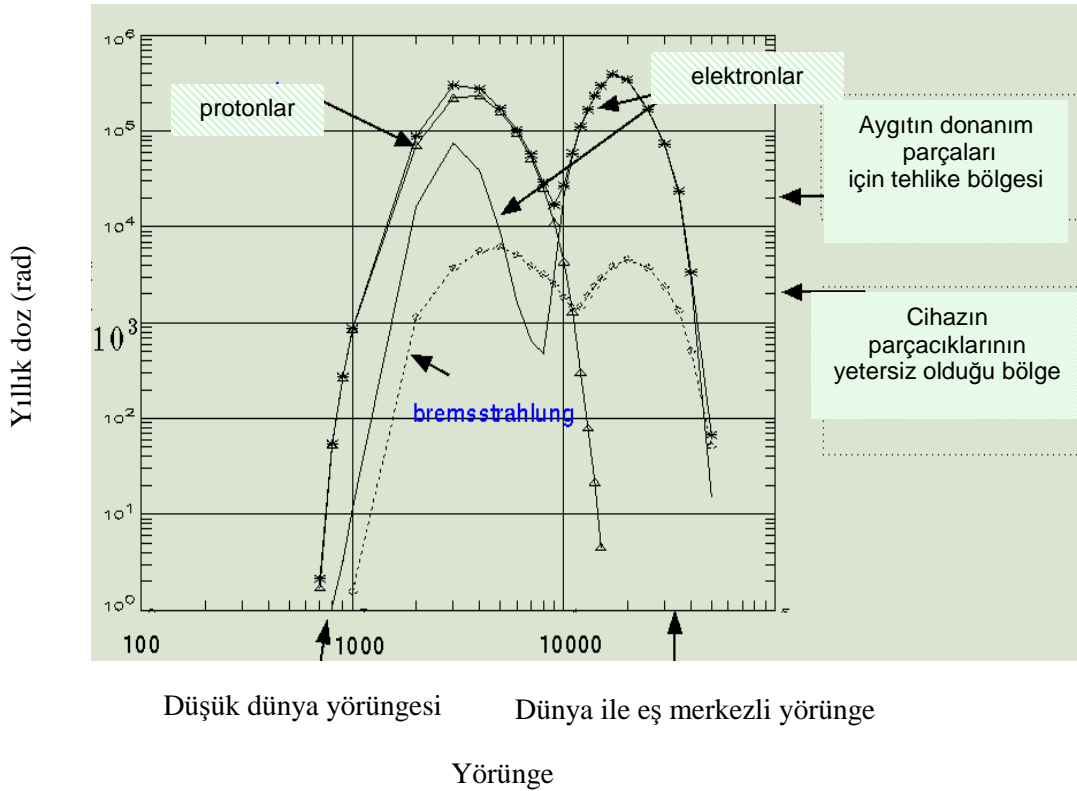
Toplam iyonlaşma dozu yüzünden oluşan ilk arıza Telstarda oluştu. Telstar 9 Temmuz tarihinde 1962 Deniz Yıldızı testinde fırlatıldı. Deniz Yıldızı 1.4 Megaton gücünde bir nükleer silahtı ve Pasifik Okyanusunda Johnston Adası üzerinde yaklaşık 400 km yükseklikte patladı. Patlama beta parçacıklarını dünyanın manyetik alanına yapay bir radyasyon kuşağı olarak ekledi. Yapay elektron kuşağı 1970'lerin başlarına kadar devam etti. Deniz Yıldızı 7 ay içerisinde yedi tane uyduyu güneşten gelen parçacıkların etkisi olmaksızın etkisiz hale getirdi.

Toplam iyonlaşma dozu yüzünden oluşan arızayı çoğunlukla elektronlar ve protonlar meydana getirir ve elektronların ve protonların meydana getirdiği

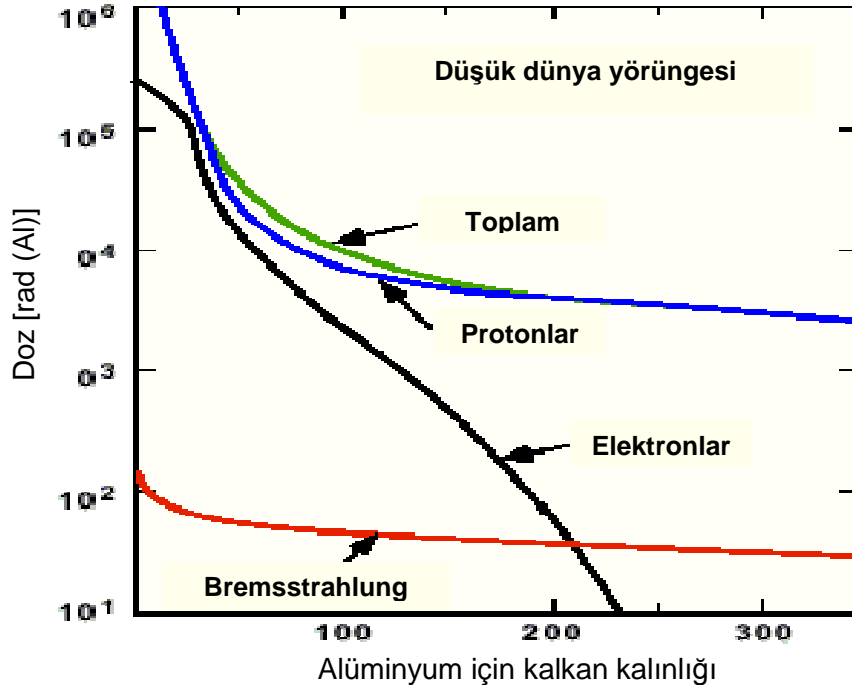
iyonlaşma dozunun geçen süre içinde ölçümü yapılabilir. Bu madde tarafından enerji soğurulmasıdır. Soğurulan doz birimi olarak rad kullanılır veya SI biriminde gray (Gy) kullanılır. $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rads} = 1 \text{ J/kg}$.

Toplam iyonlaşma dozu, tuzaklanmış elektron ve protonlar, ikinci frenleme ışınması (bremsstrahlung) fotonları ve güneşten gelen protonlar sayesinde hesaplanabilir. Galaktik kozmik ışın iyonlarından gelen katkı ise, bu diğer kaynakların varlığında önemsizdir. Proton ve elektronların asıl kaynakları ise şunlardır.

- Güneşten gelen enerjili parçacık olayları ve
- Güney Atlantik Anormali içinden geçiş.



Şekil 3.12. Ekvatorial yörünge içindeki yıllık doz miktarı
(<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/tiondose.html>)



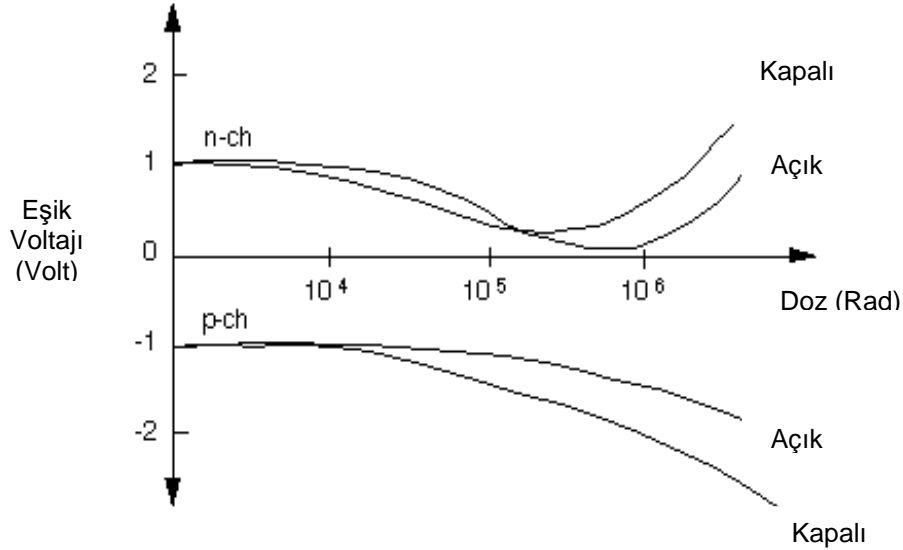
Şekil.3.13. Ekvatorial yörüngenin bir fonksiyonu olarak proton, elektron ve frenleme ışımasından (bremsstrahlung) kaynaklanan yıllık doz miktarı (http://parts.jpl.nasa.gov/docs/Radcrs_Final.pdf)

Toplam iyonlaşmış doz (total ionizing dose, TID), yörüngenin deniz seviyesinden yüksekliğine ve zamana bağlıdır. TID'ı hesaplamak için parçacığın enerji spektrumunun integraline ihtiyaç duyarız. $\Phi(E)$, parçacığın enerjisinin bir fonksiyonudur. Uydular ve uzay araçlarının TID'ı 10 ile 100 Krad (SI) arasındadır. Aygıtlar kullanımdan önce laboratuarda testten geçirilirler. LEO içinde, tek olay etkileri 1991 yılında karşılaşılan bir probleme rağmen, uzay içindeki 0.1 rad/sec'den çok daha düşük doz yerine, laboratuarda çok daha yüksek değerdeki doz miktarı (Örneğin 50-300 rad/sec) aygıt üzerine uygulanmıştır. Bunun sonucunda da birçok aygıtın özellikle yan PNP transistorlarının düşük dozda duyarlılıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Toplam iyonlaşma dozunun artması, madde yapısındaki bozunmaların artmasıdır. Uzun süre aracın korumasız kalması, aygıtın eşik değerindeki değişimin artmasına, sızıntı meydana gelmesine ve görevini tam anlamıyla yapamamasına neden olur. TID etkilerini azaltmak için radyasyon kalkanları kullanılır

Elektronların ve düşük enerjili protonların etkileri kısmen, koruyucular ile azaltılabilir. Yarı iletkenlerde, değerlik banda iletilen taşıyıcılar aracılığıyla iyonlaşma meydana gelir. İyonlaşma radyasyonunun zararı her şeyden önce, SiO₂'de olduğu gibi giriş ve oksit tabaka alanında etkili olur. İyonizasyon 8.1x10¹² ehçs/rad (SiO₂)cm³ oranında elektron boşluk çifti üretir. Elektronlar yüksek hareket kabiliyetine sahiptirler ve hızlı bir şekilde uzağa giderler, fakat elektron boşlukları daha düşük hareket kabiliyetine sahiptirler. Elektron boşluklarının bazıları küçük boyutlarda taşınabilir (~1/5) ve Si/SiO₂ yüzeylerinde tuzaklanır.

Oluşan tuzaklar oksit içerisine ve arabirim yüzeyine doğru hücum eder. Bu durum eşik voltajında, transistörlerin oksit alanlarında ve transistörlerin giriş uçlarında değişiklikler suretiyle aygıtın karakteristiğinde değişiklik yapar. Tuzaklanmış boşluklar durağan değildir, yavaş yavaş zamanla durağan olur. Aygıt üzerindeki tüm etkiler aygıtın yapıma teknolojisine bağlıdır.

Metal oksit yarı iletken (MOS) transistörleri içindeki etki ile eşik değişiminin tipik olarak gösterimi aşağıdaki gibidir.



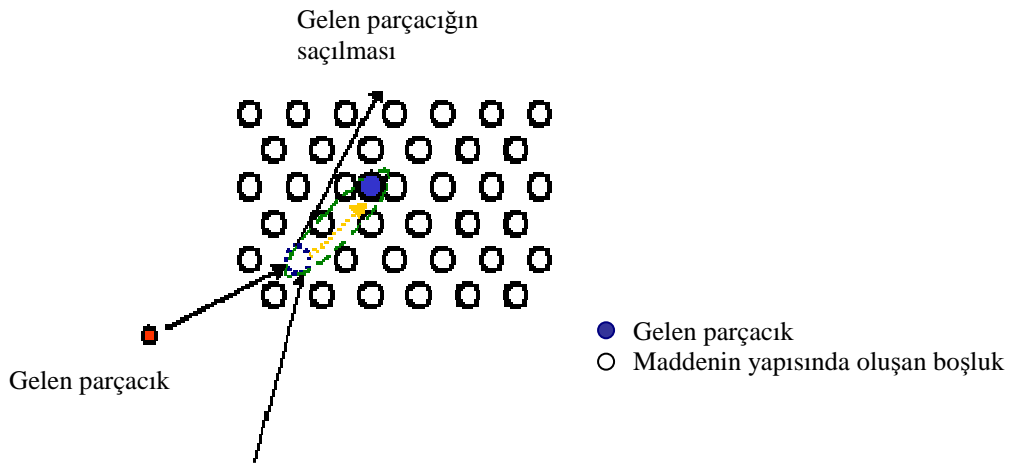
Şekil 3.14. Metal oksit yarı iletken (MOS) transistörleri içindeki etki ile eşik değişiminin tipik olarak gösterimi (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/tiondose.html>)

İyonlaşma radyasyonlarından olan toplam iyonlaşma dozu (TID) ve tek olay etkileri (SEE) arasındaki farkı şu şekilde açıklayabiliriz; TID'ın uzun süreli mekanik arızalara neden olmasına karşın, SEE anlık mekanik arızalara neden olmaktadır. TID arıza oranı arızadaki asıl zaman olarak açıklanabilir. Fakat SEE dönem içindeki rasgele bir arıza olarak belirtilmelidir (<http://www.eas.asu.edu/holbert/eee460/tiondose.html>).

3.4. Yapı Kusurları

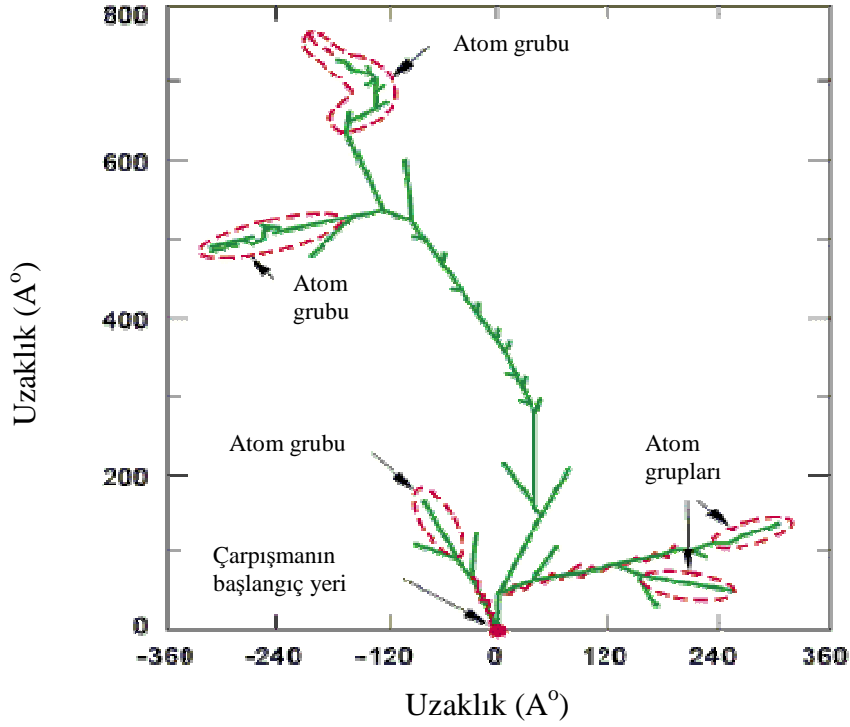
Yapı kusurları, nükleer etkileşimlerin sonucudur. Tipik olarak saçılma yapı kusurlarına neden olur. Protonlar, elektronlar ve nötronlardan kaynaklanan uzun dönemli iyonlaşma olmayan bir durumu gerektirir. Gelen parçacıkla bir yapı atomu arasındaki çarpışma, yapı atomunu yerinden çıkartabilir. Bu durum şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Aşağıdaki gösterimle, yarı iletken yapı atomlarının bir bölümü silisyumda olduğu gibi çarpışmalar ile taşınır. Bu çarpışmaların her biri büyük kütleli parçacıkların ve ikincil parçacıkların neden olduğu nükleer olayları sonucu oluşur.



Şekil 3.15. Yapı kusurları (<http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/tiondose.html>)

Enerjileri 150 keV üzerinde olan elektronlar protonlar ve nötrinolar yapı kusurlarına neden olmaktadır. Koruma bazı etkileri azaltır ancak aygıt üzerindeki etki, aygıtın konumuna bağlıdır. Yapı kusurları, güneşten gelen protonlardan da kaynaklanmasına rağmen, tek olay etkilerinden veya toplam iyonlaşma dozundan daha az etkilidir.



Şekil 3.16. Silikon içinde meydana gelen zararlar (http://parts.jpl.nasa.gov/docs/Radcrs_Final.pdf)

BÖLÜM 4. UZAY RADYASYON ÇEVRESİNİN ETKİLERİNİN SONUÇLARI

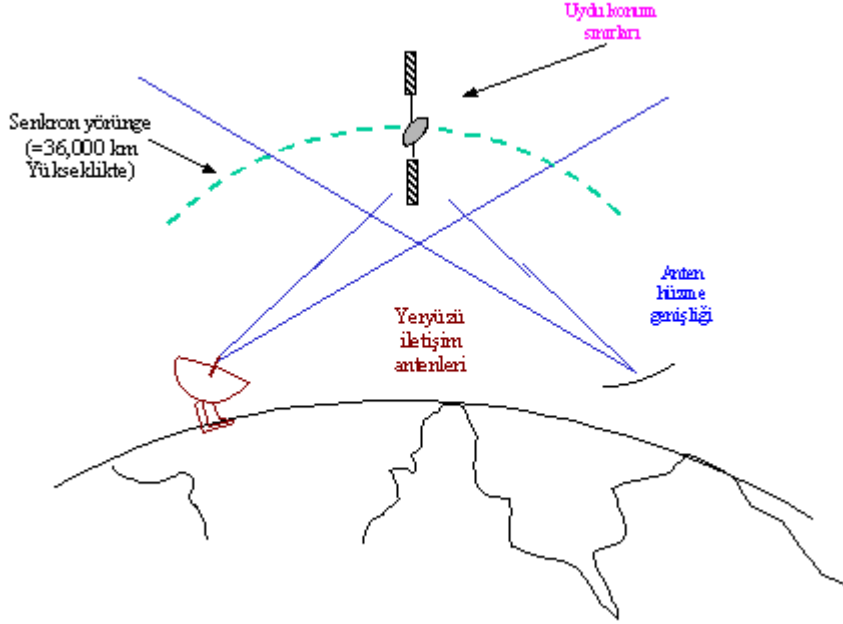
Bölüm – 3 de anlatılan uzay radyasyonunun yapmış olduğu etkiler sadece haberleşme uyduları için değil, diğer uydular için ve uzay araçları içinde tehlike oluşturur. Bu etkiler; aygıt içinde iyonlaşmanın verdiği zararları, hassas aygıtlar içinde donanım veya yazılım arızaları, elektrik yükü boşalmalarından kaynaklanan elektromanyetik gürültüler, aygıt içindeki, kablolar ve baskı devre kartlarının yanması, elektronik aygıtların işlevlerini kaybetmesi, dielektrik yük boşalmaları sırasında uydu içindeki sıcaklığın artması, aygıtlar üzerinde biriken akımın kirlenmiş ve yüklenmiş alanlar oluşturması ve bunun sonucu olarak ta optik algılayıcıların, çok katmanlı yalıtma battaniyelerinin ve güneş ekipmanlarının zarar görmesi, uydunun yalıtılmış iletkenlerinde iç kısımdaki elektrik yüklenmelerinin oluşması, uydunun yüksek sürüklenme etkisi suretiyle atmosfere girerek parçalanması, dolayısıyla yaşam süresinin beklenenden daha kısa olması, güneş döngüsünün maksimum devrelerinde güneşin büyük bir radyo dalgası atımında bulunması sırasında uydu ile yer arasında ki haberleşmenin kesilmesi ve uydunun güç kademesinde meydana gelebilecek arızalar , uzay radyasyonunun haberleşme uyduları ve diğer uzay araçları üzerinde meydana getirebileceği etkiler olarak sıralanabilir.

Şimdi uydunun yapısına bakarak, uydunun yapısında var olan ve uydunun işlevlerini yerine getirebilmesi için gerekli olan birimlerin uzay radyasyonundan nasıl etkilendiğine bakalım.

4.1. Uydu İletişim Sistemleri

Uydu iletişim sistemleri; bir uydudan, uydunun yörüngesini, uzaydaki konumunu ve çalışmasını denetleyen bir yeryüzü istasyonundan, uydu üzerindeki alınan frekansı, gönderme frekansına çeviren çeviriciden (transponder) ve iletişim

trafiğinin gönderilmesini ve alınmasını (çıkarma hattı ve indirme hattı) sağlayan yer terminalleri ağından oluşmaktadır.



Şekil-4.1. Uydunun haberleşme sistemi

Günümüzde kullanılan uydunun tipleri, dünya üzerinde buldukları yörüngelere göre üç grupta sınıflandırılır. Bunlar sırasıyla; dünya etrafında bir günde bir turdan fazla yol alan uydular olan LEO tipi uydular, dünyanın etrafında dünya ile aynı hızda dönen GEO tipi uydular ve dünya etrafındaki dönüşünü bir günden daha uzun sürede tamamlayan HEO tipi uydulardır.

4.2. Haberleşme Uydularının Yapısı

Uydunun tasarımı, haberleşmenin niteliği ile doğrudan ilgilidir. Dünya üzerinde bir yörüngede bulunan uydunun alıcı ve verici antenlerinin, dünya üzerinde istenen

bir noktaya yönlendirilebilmesi için antenlerin her zaman dünyaya dönük olması gerekmektedir. Aksi halde iletişimin sürekliliği sağlanamayacaktır.

Uydunun kendisi ise iki temel bölümden oluşmaktadır:

Yük : İletişim sinyali için transponder işlevini yerine getiren antenler, alıcılar ve vericilerden oluşur.

Link (Yol) : Durum denetimi, sıcaklık denetimi, komut ve telemetri sistemleri bulunur. Temel olarak link, yükün çalışabilmesi için destek görevlerini yerine getirir. Yapısında uydu bakım ve onarımını sağlayan sistemler, uyduyu yörüngede tutan, hareketlerini düzenleyen, dengeleyen kimyasal ve elektriksel tepki motorları, uydunun yakıtı ve aküleri bulunmaktadır.

Haberleşme uyduları görevlerini yerine getirebilmek için; güç kaynaklarına, iç yapılarında ısı kontrollerine, veri aktarımına, çevre kontrolüne ve kendi çevresinde dönüş hareketine ihtiyaç duyarlar.

4.3. Uzay Radyasyonunun Etkilerinin Sonuçları

Uzay radyasyonunun haberleşme uyduları üzerinde meydana getirdiği etkilerin sonuçlarını aşağıdaki gibi genelleştirebiliriz.

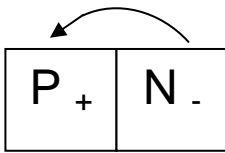
4.3.1. Güç Kaynakları Üzerindeki Sonuçları

Güç kaynağı bir uydunun en önemli kısmıdır. Uydu üzerindeki elektronik ve mekanik donanımı çalıştırmak için enerjiye ihtiyaç vardır. Uyduya, uzaya atıldıktan sonra, ekvatorun üzerinde, yeryüzüne göre değişmeyen belli bir yükseklikte,

yörüngesel bir konum ya da bölme tahsis edilir. Uzay ortamında uygulanan kuvvetler nedeniyle uydunun yeryüzüne göre durağan yörüngesinden çıkmasını engellemek amacıyla yerdeki kontrol merkezi yörünge kontrol sinyalleri ile uyduyu kendisine ayrılan bölgede tutar.

Uyduların güç kaynakları olarak bazı aletlere gereksinimleri vardır. Bu aletler bildiğimiz piller olabilir. Eğer uydunun çalışma süresi birkaç aydan fazla ise piller büyük problemler yaratmaktadır. Öyle bir enerji kaynağı olmalıdır ki, süreklilik arz etsin. Bu güne kadar kullanılan en ekonomik kaynak güneş enerjisidir. Enerji uydunun panellerindeki hücreler yardımıyla güneşten sağlanır. Bunlar güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren yarı iletken aletlerdir. Ancak bunlar yalnızca güneş ışığı var olduğu zaman çalışabildiğinden, uydu dünyanın gölge konisi içindeyken gerekli olan enerji için hala doldurulabilir pillere ihtiyaç vardır. Bu piller, güneş hücreleri ışık aldığı zaman doldurulur ve ışık olmadığı zaman kullanılır. Uydu her gün yeryüzü tarafından birer kere, ilkbahar ve güz noktaları (dönenceleri) civarında tutulur, dolayısıyla güneşle olan doğrudan bağlantı kesilir. Tutulmalar 70 dakika kadar sürebilir ve bu sırada pil enerjisi kullanılır. Uzay radyasyonunun güç kaynakları üzerindeki sonuçlarını anlayabilmek için öncelikle güneş hücrelerinin çalışma prensibini incelemek gerekir.

Bazı elementler germanyum (Ge) ve silisyum (Si) elementleri gibi yarı iletkenlerdir. Güneş pillerinin çalışma ilkesinde olduğu gibi, **p** ve **n** olarak isimlendirilen iki farklı tür yarı iletken üst üste konur ve n tipi yarı iletken p tipi yarı iletkene doğru bir akımın oluşması sağlanır. **n** tipi yarı iletkenler kolayca elektron verebilen maddelerden yapılmıştır. Buna karşılık **p** tipi yarı iletkenler ise kolaylıkla elektron alabilen elementlerden yapılmıştır.



Şekil 4.2. Güneş pillerinin çalışma ilkesi

Bir tek elektronun n'den kopup p'ye geçebilmesi için bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji ε_1 olsun. Bu takdirde T mutlak sıcaklık olmak üzere bütün elektronların n'den kopup p'ye gitmeleri için gerekli enerji,

$$e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}} \quad (4.1)$$

olur. Burada k , boltzman sabitidir. Bu denklemlerle verilen aynı zamanda n tipi maddenin elektron alması için gerekli olan enerji miktarıdır.

Burada iki tip yarı iletken temas halindedir. Dolayısıyla elektronlar n tipinden p tipine harekete başlarlar. n tipi madde elektron kaybettiği için (+) ; p tipi madde ise elektron kazandığı için (-) olarak yüklenmiştir. Bunu bir mıknatısın iki kutbu gibi düşünebiliriz. Ancak bazı olaylar, tüm bu nedenleri önlemek için bir potansiyel barajı oluştururlar. Dolayısıyla p ve n tipinden oluşan bu bileşimde hiçbir akım meydana gelmez. Mutlaka bu potansiyel barajının aşılması gerekmektedir. Bunun için de güneş ışınlarına ihtiyaç vardır.

E_j , n ile p arasındaki potansiyel farkı olsun. Eğer n ile p arasında bulunan ekleme bir gerilim uyguladığımız takdirde geçen akımın miktarı aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$I = I_0 \left(e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right) \quad (4.2)$$

Burada I_0 , gerilim uygulanmadığı zaman geçen akımın miktarı olmak üzere, bağlantı yerine gerilim uygulamak yerine n veya p'nin üzerine ışık düşürüldüğü zaman bir akım oluşmaktadır. Bu takdirde yüklenmemiş bir devrede elektron volt cinsinden meydana gelen maksimum enerji,

$$kT \log\left(\frac{I}{I_0} + 1\right) \quad (4.3)$$

olur. Düşen ışınımın yoğunluğu arttıkça maksimum enerjide de bir artış olmaktadır. Ancak 40 mW/cm^2 ışık yoğunluğundan sonraki değerlerde maksimum enerji 0.6 eV civarında sabit kalmaktadır. Genellikle $E_g = 1.6 \text{ eV}$ olması istenir. Buradaki E_g , kullanılan madde içerisindeki enerji boşluğudur. Eğer silisyum kullanılacak olursa bu değer 1.1 eV olmaktadır. Silisyum tabanlı güneş hücrelerinde verim %22 civarındadır ve hala en iyi güneş hücrelerinin yapımında silisyum kullanılmaktadır. p tipi madde direk güneş ışığını gören yüzeye, n tipi ise hemen onun altına konmaktadır. Eğer n tipi maddeden bir güneş hücresi yapılacaksa üstleri safir ile kaplanmaktadır.

Güneş pillerinin çalışma prensibine dikkat edilecek olursa n ve p kutupları arasında bir baraj voltajının oluşması gerektiği belirtilmiş ve bu voltajın oluşması için de gerekli enerjinin güneş ışığından yararlanılarak sağlandığı belirtilmiştir. Ancak güneş panelleri üzerine sadece güneş ışığı düşmemekte, bunun yanında uzay radyasyonundan kaynaklanan dielektriksel elektrik yük boşalmaları oluşabilmektedir. 4.3. formülüne dikkat edilecek olursa, dielektriksel elektrik yükü boşalmaları sırasında sıcaklığın artması üslü terimdeki değer büyümeye, bu da mevcut oluşması istenen akıma ters yönde bir akımın oluşmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla ilk başta mevcut bir akım varsa ve I_0 ise daha sonra oluşacak akım I , I_0 akımına ters yönde bir akım olabilecek ve istenilen akım değeri elde edilememiş olacaktır (<http://www.qsl.net/ta1kb/aselsan/uyduhabsistemi.htm>).

4.3.2. Uydu İç Yapısında Isı Kontrolündeki Sonuçları

Bilimsel aletler, özellikle ölçüm yapan detektörler sürekli olarak uygun sıcaklıkta tutulan bir ortam içinde verimli çalışabilirler. Dünya çevresinde dolanan bir uydu devamlı olarak boşluk içinde bulunmaktadır. Elektronik devrelerde akımın

bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Buda devrelerde direncin artmasına neden olur. Düzenli bir çalışma için sistemin aynı ısıda tutulması gerekmektedir. Hava içinde bulunan bir sistemde soğutma konveksiyon akımları sayesinde sağlanır. Örneğin; bilgisayarlardaki fan adı verilen küçük vantilatörler bu işlevi sağlarlar. Ya da içinden hava geçebilen delikli ve yollu alüminyum metal soğutucular kullanılır. Eğer hava yoksa bunların hiçbiri işe yaramaz. Halbuki, uydularda sıcaklık yüzeyden soğurulan ve salınan ışıma enerjisine bağlıdır. Enerji dengesi ışıma yoluyla sağlanmaktadır.

Uyduda aletlerin bulunduğu bölüm, uydunun yüzeyinden gelecek veya salınacak ısıya karşı iyice yalıtılmıştır. Ayrıca yüzey ile kap arasındaki ısı alışverişi sürekli olarak kontrol edilmektedir. Bölümün içindeki aletlerin harcadığı ortalama enerji miktarının bilinmesiyle sıcaklığın hangi aralıkta tutulması gerektiği hesaplanır. Dolayısıyla bir enerji dengesinin olması için ;

- a) İçeride üretilen enerji miktarı
- b) Dışarı kaçan enerji miktarı
- c) Dışarıdan gelen enerji miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Uydu yüzeyinin sıcaklığı T olsun. Bu durumda sıcaklık kontrolünü şu şekilde gösterebiliriz:

$$R_s a_s + R_r a_s + R_e a_e - A \sigma_e T^4 = ms \frac{dT}{ds} \quad (4.4)$$

Bura da ;

$R_s a_s + R_r a_s + R_e a_e$: Uydunun dış ortamdan kazandığı ısı enerjisi yani KAZANÇ enerjisidir.

$A \sigma_e T^4$ Uydunun tüm yüzeyinden yaydığı ışıma miktarı, KAYIP enerjidir.

σT^4 : Kara cisim için Stefan kanununa gösterir. Çünkü uyduyu bir kara cisim olarak da alabiliriz.

R_s : Doğrudan güneşten uydu yüzeyine düşen ışınım enerjisidir.

R_r : Dünya yüzeyinden yansıyor uydu yüzeyine bir saniyede düşen güneş enerjisidir.

R_e : Dünyadan bir saniyede uydu yüzeyine gelen kırmızı ötesi enerjidir (bu enerjinin %99 dünyanın iç kısımlarındaki magma tabakasından gelmektedir).

a_s ve a_e : Güneş ışınımı ve dünyanın kırmızı ötesi ışınımı için uydu yüzeyinin soğurma katsayısıdır.

A :Uydu yüzeyinin alanı

$ms \frac{dT}{ds}$: Uydunun ısı kapasitesi

m : Uydunun kütlesi

s : Uydu yüzeyinin yapıldığı maddenin özgül ısısı

(4.5) denklemi bir an için geçerli olan bir denklemdir, çünkü enerji birimleri enerji/saniye cinsinden ifade edilir. Oysa uydu dünya çevresinde dolandıkça ısı olayı sürekli değişmektedir. Bundan dolayı T üzerinde bir ortalama almak gereklidir, sonuç olarak ;

$$A\sigma\bar{T}^4 = \bar{R}_e + (\bar{R}_s + \bar{R}_r) \frac{a_s}{a_e} \quad (4.5)$$

denklemi geçerlidir. Bu denklemden de görülüyor ki bazı terimleri kontrol etmek mümkün değildir. A değeri, uydu uzaya atılmadan değiştirilebilir, ancak fırlatıldıktan sonra A değerinin değiştirilmesi mümkün değildir. R_e , R_s , R_r kontrol edilemezler. Buna karşılık a_s/a_e kontrol edilebilir.

Ancak her ne kadar a_s/a_e oranı istenilen şekilde seçilerek sıcaklığı kontrol etme olanağımız var gibi görünüyorsa da gerçekte durum böyle değildir. Çünkü yüzeyin yapıldığı malzemenin uydunun amacına yönelik birçok başka koşullara uyması gerekir. Örneğin, uydunun görsel olarak gözlenmesi gerekiyorsa yüzeyi görsel ışınımı iyi yansıtmalı ve çok büyük olmalıdır. Böyle bir yüzeyin a_s/a_e oranı 5

civarındadır ve bir uydu için bu değer çok büyüktür. Burada yapılacak iş, yüzeyi çok ince bir dielektrik tabaka ile kaplamaktır. Görsel ışınım için bu tabaka saydam, fakat yakın kırmızı ötesinde saydam olmadığından a_e büyümüş olur. Dolayısıyla a_s/a_e oranı da küçülür. Genelde dielektrik malzeme olarak SiO_2 kullanılır.

Bazı uydularda aktif sıcaklık kontrolü gerekir. Uzay radyasyonunun etkisi altında meydana gelebilecek sıcaklık artışları bölüm-3'te belirtildiği üzere uydunun elektronik cihazlarının bir süre sonra işlevini yerine getirememesine neden olmaktadır(<http://www.sagres.itu.edu.tr/page.tr.php?id=73>).

4.3.3. Veri Aktarımındaki Sonuçları

Veri aktarımı için gerekli enerji miktarının hesaplanması zorunludur. Çünkü yeryüzünde yaptığımız haberleşmelerde sınırsız miktarda enerji kullanabiliriz. Oysa uydularda;

- Enerji miktarı kısıtlıdır.
- Belli bir zaman dilimine sığdırılan veri sayısı çok fazladır.
- Veri aktarılan uzaklıklar çok büyüktür.
- Veri aktarma sistemleri çok enerji harcayan sistemlerdir.

Bu nedenle veri aktarımı çok zorluklar çıkarır. Örneğin bir haberleşme uydusu ile doğrudan konuşma için 7×10^4 bit/sn, TV de siyah-beyaz resim için 4×10^4 bit/sn, renkli resim için 1.2×10^5 bit/sn lik aktarım gerekir. Son teknolojiye göre veri aktarımı çok hızlanmıştır. Özellikle telefon konuşmaları sırasında veri sıkıştırılarak gönderilmektedir. Genel olarak veri aktarımı üç aşamalı bir işlemdir. Veri alınır, kodlanır ve gönderilir. Her üç işlem için de enerjiye gereksinim vardır.

Kullanılan dalga boyu veya renk aralığında saniyede algılanacak bitlerin sayısı ;

$$I = \Delta\nu \log_2 \left(1 + \frac{P_r}{P_n} \right) \text{bit} / \text{sn} \quad (4.6)$$

dir. Burada $\Delta\nu$, radyo frekans aralığı yani band, P_r alıcı antenin algılama gücü (watt), P_n gürültü gücü (watt).

Yakınsama: $P_r / P_t \ll 1$ durumunda enerjinin çoğunun gürültüye harcanması demektir. Bu durumda saniyede algılanacak bitlerin sayısı;

$$I \cong 1.44 \Delta\nu \frac{P_r}{P_n} \text{bit} / \text{sn} \quad (4.7)$$

dir. Gürültü kesinlikle aletin sıcaklığı ile ilgilidir. Alet ne kadar soğuksa gürültü o kadar az olur ve genel olarak gürültü gücü;

$$P_n = \Delta\nu k T_e \quad (4.8)$$

dir. Burada k boltzman sabiti, T_e efektif sıcaklıktır. $\Delta\nu$ arttıkça gürültü de artar. Bir bit başına $0.695kT_e$ kadar enerjiye ihtiyaç vardır. İlk fırlatılan uydularda 1 bit için gerekli olan enerji 0.56×10^{-23} Joule/°K dir. Kazanılan bilgilerin biriktirilmeden aynı hızla yayınlanabilmesi için gerekli enerji ise;

$$\frac{P_r}{P_t} = \eta G_t \frac{A}{4\pi R^2} \quad (4.9)$$

dir. Burada ;

P_r : Alıcı antenin algılama gücü

P_t : Yayın gücü

G_t : Vericinin kazancı

A : Alıcı antenin alanı

R : Vericinin anten ile olan uzaklığı

Görüldüğü gibi uydunun dünya etrafında haberleşme yapabilmesi için sıcaklığının belirli değerler arasında olması gerekir. Uzay radyasyonuna maruz kalacak olan bir uydu için ise uzay radyasyonu yüzünden artacak olan sıcaklığı, var olan kendi elektronik aygıtlarının çalışmasından artacak iç sıcaklığına göre daha fazla olacak, bu da elektromanyetik gürültülere sebep olacaktır.

Güneşle ilişkin proton olayları süresince fotonik aletlerde ve bazı yıldız izleyicilerinde gürültü artışı olduğu gözlemlenmiştir. Bu, bazı yıldız izleyicilerinde yönlendirme problemleri oluşturabilir. Çizgiler ve fazladan foto elektron resimleri, görüntüleri bilgi kalitesini azaltabilir (<http://www.sagres.itu.edu.tr/page.tr.phpid=73>)

4.3.4.Çevre Kontrolündeki Sonuçları

Dünya yüzeyindeki laboratuvar ile bir uydunun içi karşılaştırıldığında çevre koşulları çok farklıdır. Bu farklılıklar şunlardır:

Boşluk ortamı: Basıncın olmadığı bir ortamda aletleri koruyan koruyucu katmanlar çabucak buharlaşır. Sıcaklık çok düşüktür. Normal olarak aletlerin bulunduğu kap içinde ısı dengesi sağlansa bile, bazı aletler uydu dışındadır. Bu dışarıdaki aletlerde, genellikle hareket halindedirler. Hareketli aletlerin eklem yerleri soğuktan yapışır ve hareket edemez hale gelebilir. Basıncın düşüklüğü elektrikli aletlerde elektrik yükü boşalmalarına neden olur.

Yerçekiminin yokluğu: Eğer sıvılarla çalışılmıyorsa fazla önemli değildir.

Enerji yüklü parçacıklar: Güneşte oluşan parlamalar ve yıldızlar arası ortamdan gelen yüksek enerjili parçacıklar güneş pillerinde bozulmalara neden olur.

Mikro meteor tozları: Çok küçük parçacıklardır. Uydunun yörüngesinde bir değişime neden olmazlar, ancak zamanla uydunun üzerini kaplayarak özellikle güneş pillerini zayıflatırlar. Uydunun ısınmasına neden olabilirler. (<http://www.sagres.itu.edu.tr/page.tr.php?id=73>)

4.3.5. Spin Hareketi Üzerindeki Sonuçları

Uzay araçlarında yönlendirme ve yer tayini birkaç aşamada yapılır. Bunlar;

1. Uzay aracının yerinin tayini: Belli bir anda bulunduğu yeri tayin etmek.
2. Uzay aracının yönünün tayini: Belli referans sistemlerine göre durumu belirlemek ve
3. Yörüngenin belirlenmesi şeklindedir.

Bu üç madde uzay aracının veya uydunun uzaydaki durumu, yeri ve konumu için gereklidir. Yörüngenin belirlenmesi iki şekilde olur. Ya uydu kendi yerini bildirir ya da yeryüzünden gözlem veya radar sistemleriyle tespit edilir.

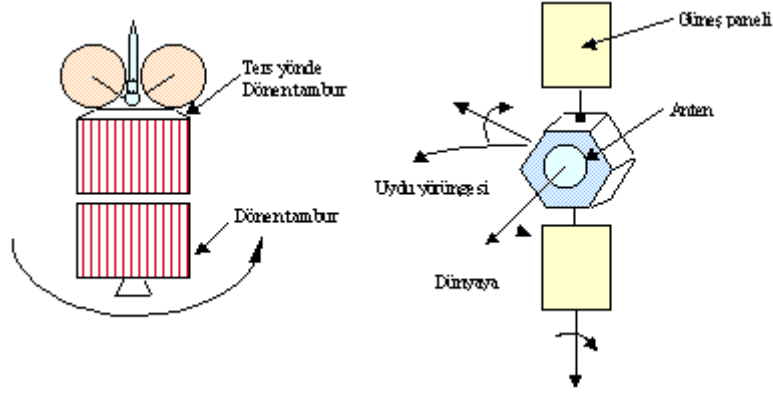
Bir uydu fırlatılmadan önce nasıl bir yörüngeye oturtulacağı belirlenir. Ancak her zaman istenilen olmaz. Genelde uydu kendi yörüngesini belirler. Uydu önceden tespit edilen yörüngeden daha farklı bir yörüngeye oturabilir. Eğer bu yörünge kararlıysa, genelde uydunun yörüngesi değiştirilmez. Yeni yörüngeye göre uydunun çalışması düzenlenir. Böyle sürprizlerle karşılaşmamak için uydular, daha dairesel ve yere yakın geçici yörüngelere oturtulduktan sonra, istenilen yörüngeye yerleştirilir.

Yörüngenin tespit edilebilmesi için uydunun yönünün ve yerinin iyice belirlenmesi gerekir. Uydularda yer belirleme oldukça kolay bir işlemdir. Fakat bir uydunun fırlatılması sırasında uydu ve fırlatıcı sisteminin yer belirlemesi son derece önemlidir. Fırlatıcı sistemlerde yer tayini çok karışık hesapları gerektirmektedir. Özellikle askeri amaçlı roket sistemlerinde yer belirleme yaşamsal önem taşır. Bir uydu istenilen yörüngeye başarıyla oturtulsa bile sorunlar bitmiş değildir.

İkinci problem ise uydunun kendi eksenini etrafındaki dönmesinin kontrol edilmesi ve istenilen durumda tutulmasının sağlanmasıdır. Eğer bu sağlanamazsa uydu kaybedilmiş demektir. Uydunun kendi eksenini etrafında dönmesine **spin** denir. Her uydunun spin durumu üslendiği göreve göre seçilir. Eğer uydunun görevi yer yüzeyini incelemek veya haberleşme ise; uydunun alıcıları, vericileri ve kameraları gibi bazı aletleri daima yeryüzüne dönük olmalıdır.

Uydunun yörünge periyodu ile kendi eksenini etrafındaki dönmesi arasında bir ilişki vardır. Dönme eksenini daima yörüngeye dik olmalıdır. Uydu, yörüngede iken yerçekimi farklılığı, dünyanın manyetik alanı, güneş enerjisi gibi dış etkenler yanında, uydunun dengelenmemiş iç hareketleri gibi birçok değişik kuvvetin etkisindedir. Bu etkenler uydunun istenen yörüngede kalmasını önlemektedir. Bu kuvvetlerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ve dolayısıyla uyduyu kararlı bir durumda tutmak için, spin hareketi gereklidir. Böylece uydunun, yüksek açısız momentumu bulunan bir denge çarkı gibi davranması sağlanmaktadır. Antenlerin her zaman dünyaya dönük tutulması için; antenler ve tüm haberleşme donanımı uydunun dönme hızıyla aynı hızda, ancak dönme yönünün tersinde dönen eylemsizliği düşük bir zemin üzerine oturtulmuştur. Bu nedenle uydular dönme eksenlerine göre simetrik yapırlar. Uydunun bu şekilde kararlı tutulmasına "Çift Dönme" yöntemi denir. Günümüzde ise yeni kararlı tutma yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi "Üç eksenli kararlı tutma" yöntemidir.

Şekil-4.3'te bu iki yöntemin yapısal farklılıkları görülmektedir. Çift dönmeli uydularda çeper güneş hücreleri ile kaplanmış ve antenler ters yönde dönen platform üzerine oturtulmuştur. Öte yandan Üç eksenli uydularda gerekli güç, güneş hücrelerinden sağlanmaktadır. Ancak bu hücrelerin yerleştirildiği güneş levhaları hareketlidir ve her zaman güneşe dönük durumda tutulmaktadır.



(a) Çift Dönmeli Uydu

(b) Üç-eksende kararlı uydu

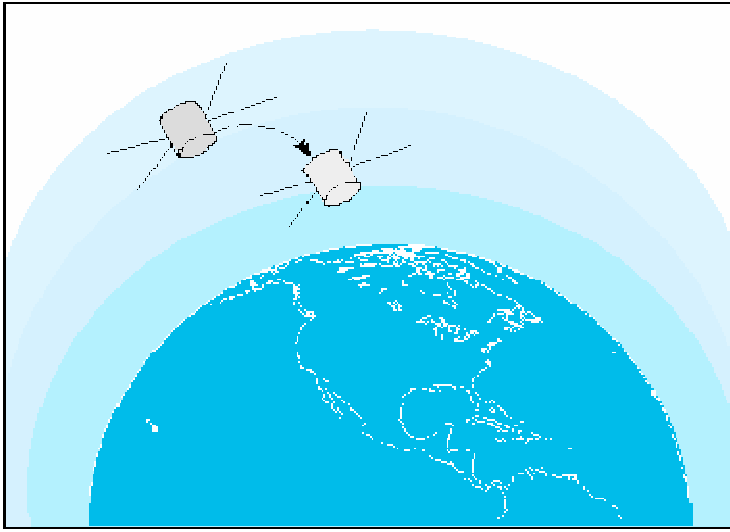
Şekil 4.3 Uyduların spin hareketi

Spin hızını bozan en büyük etken yerin manyetik alanıdır. Uydu üzerine düşen manyetik alan akısı sürekli değişmektedir. Bu manyetik değişim uydu içindeki elektrik devreleri üzerinde etkili olmakta ve ek akımlar oluşturmaktadır. Bu akımlara **Eddy akımları** denir. Eddy akımları kısaca manyetik alanın değişiminin sonucudur. Uydu-yer arasında sürekli bir enerji dengesi değişimi vardır. Uydu yerin manyetik alanı içinde hareket ettiğinden, yakın çevresindeki manyetik alanı bozar ve sıkıştırır. Bu burulma etkisi spin üzerinde bir frenlemeye neden olur. Bu nedenle uyduları yalıtkan maddelerden yapmaya özen gösterilir (<http://www.sagres.itu.edu.tr/page.tr.phpid=73>)

4.3.6. Sürüklenme Kuvvetini Oluşturan Etkenler

Uzay aracının LEO deneyimi periyodların da artan sürüklenmesi onları yavaşlatır ve yükseklik kaybederek sonunda tekrar atmosfere giriş yapmalarını sağlar. Kısa dönem sürüklenme etkileri genellikle uzay aracı tarafından 1000 km'den daha düşük yüksekliklerde algılanır. Geomanyetik fırtınalar süresince sürüklenme artışı güneşin mor ötesi çıktısı ve toplam atmosfer ısısı ile düzenlenir. Güneşin mor ötesi değişkenliğinin varyasyonları 11 güneş yılından 27 güneş gününe kadar değişik güneş dönme periyotları içerir. Geomanyetik fırtınalar nadir görülür fakat, büyük fırtınaların çoğu güneş döngüsünün maksimum devresine denk gelen yıllarda olur.

Sürüklenme modellerinin çoğunda 10,7 cm dalga genişliğinde radyo dalgası bir mor ötesi ışının yerine geçer. Kp'nin değeri, genellikle ısıya bağlı ve kısa dönemli magnetik fırtınalarda bir devre çıkışı göstergesidir. Genelde 250 güneş değişkenlik biriminden büyük olan 10,7 cm değişkenliği ve Kp değerleri çok kısa dönem sürüklenme artışı sonucunu verebilir. 1989 yılının 13-14 Martındaki büyük geomanyetik fırtına süresince binlerce uzay cismi kaybedilmiştir. Bundan dolayı fırtına süresince uyduların yaşam süreleri önem kazanır (<http://www.sagres.itu.edu.tr/page.tr.phpid=73>)



Şekil 4.4. Uzay radyasyonunun haberleşme uyduları üzerine etkileri

(<http://bang.lanl.gov/solarsys/enghomepage.htm>)

Güneş aktivitesi sırasında artan geomagnetik fırtınalar ve mor ötesi ışınım, dünya atmosferinin üst katmanlarını ısıtmaktadır ve bunun sonucu bu katmanlar genişlemektedirler. 1000 km yükseklikte dönen uyduların bulunduğu bölgelere kadar yükselen ve ısınan hava bu yüksekliklerde atmosferin yoğunluğunun önemli oranda artmasına neden olmaktadır. Bu da uyduların hareketinin yavaşlamasına ve zamanla yörüngelerinde istenmeyen yükseklik kayıplarına yol açmaktadır. Yaşam sürelerinin daha uzun olması için uydular gerektiğinden daha yükseklerde yörüngeye oturtulurlar. Çünkü yukarıdaki nedenlerden dolayı zamanla yavaşlayarak atmosfere girip yanacaklardır.

İlerleyen teknoloji uzay araçlarında kullanılan parçaların daha küçük imal edilmesini sağlamaktadır. Bu durum uygun koşulların yanı sıra uygun olmayan koşullar da getirmektedir. Gitgide küçülen bu parçalar, güneşten gelen enerji yüklü parçacıklardan daha çok etkilenmektedir. Bu parçacıklar uydulara yerleştirilmiş bilgisayarlardaki mikro yongalarda tahribatlar yaparak bilgisayarların yazılımlarında komutların değişmesine yol açabilmektedir.

Uydu operatörlerinin karşılaştığı diğer bir problem de diferansiyel elektrik yüklenmesidir. Uyduların bulunduğu yörünge yüksekliklerinde iyonların ve elektronların hem sayısı, hem de enerjileri geomagnetik fırtınalar sırasında artmaktadır. Uydu bu enerji yüklü ortamdan geçerken yüksek oranda elektrik yüklü parçacık yağmuru etkisi altında kalır ve bu elektrik yüklü parçacıklar, uyduların farklı bölümlerinde diferansiyel elektrik yüklenmesine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, bu bölümler arasında meydana gelen elektrik boşalmaları, uydunun değişik parçalarında arklara yol açarak buralarda tahribatlara neden olabilmektedir (<http://www.sec.noaa.gov/>, <http://www.ngdc.noaa.gov/>).

BÖLÜM 5 – TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu günkü koşullarda bir uzay aracını uzay şartlarına karşı etkilenmez kılmak imkansızdır ve ekonomik olmayacaktır, mutlaka etkilenecektir. Veriler, alarmlar, izlemeler, ikazlar ve diğer teknikler herhangi bir sapmaya, düzensizliğe izin vermemek konusunda şimdilik kararlıdır.

Son 20-30 yıl içerisinde güneş patlamalarının, koronal kütle atımlarının ve magnetik fırtınaların insanı ve insanın etkinliklerini önemli oranda etkilediğinin farkına varılmıştır. Teknolojik sistemlere olan bağımlılığımız bu etkileşimin sonuçlarını giderek önemli kılmaktadır. Bu nedenle sağlık, güvenlik ve ticari nedenlerle uzay çevresi ile ilgili hizmet veren merkezlerin hizmet sürekliliği ve kalitelerinin geliştirilmesi dünyada vazgeçilemeyecek bilimsel etkinliklerden biri haline gelmiştir

Bu tez çalışmasında özellikle uzay radyasyon çevresinin etkilerinin neler olabileceği anlatılmaya çalışılmıştır. Buradaki amaç ileri ki çalışmalarda bu tez çalışmasının ön basamak olmasını sağlamak ve uydu tasarımında bu bilgilerden yararlanmaktır. Günümüz koşullarında tasarımı yapılan uyduların yaşamları süresince, içerisinde yer aldığı uzay ortamı en büyük tehdidi oluşturmaktadır. Bu yüzden uydu tasarımı yapılırken, ilk olarak uydunun amacının ne olduğu belirlenmeli ve daha sonra bu amaca yönelik olarak seçilecek malzemelerin uzay ortamından en az etkilenen malzemeler olmasına özen gösterilmelidir.

Uydu tasarımı yapılırken, malzeme seçiminin sağlıklı yapılabilmesi; uzay ortamındaki şartların laboratuvar ortamında oluşturulabilmesine bağlıdır. Malzemelerin maruz kalabileceği etkiler ne kadar doğru bir şekilde laboratuvarda tespit edilip, malzemeler üzerine uygulanabilirse, malzemelerin uzayda bu etkilere maruz kaldığında dayanıklılığının ne ölçüde olabileceğine karar verilebilir. Aksi halde uyduda kullanılan malzemeler dünya ortamına göre seçilmiş malzemeler

olacaktır. Bu durumda da uydulardan istenilen sonuç alınamayacak ve uyduların yaşam süreleri beklenenden çok daha kısa olacaktır.

Güneş aktivitesiyle birlikte uzay çevremizin günlük hatta saatlik olarak izlendiği merkezlerden biri de, uzay çevresi merkezidir (SEC). Uzay çevremizin ve dünyanın güneş aktivitesindeki değişimlerden hangi durumlarda nasıl etkilendiği ayrıntılarıyla yukarıda anlatılmıştı. İşte bu merkez tıpkı meteorolojinin hazırladığı günlük hava tahmini raporları gibi uzay çevresiyle ilgili günlük hatta saatlik bültenler hazırlamaktadır.

Güneş üzerinde meydana gelen değişim önce dünya ile güneş arasındaki uzayı etkilemekte, daha sonra zamanla atmosfere ulaşmakta, kimi zaman da üzerinde yaşadığımız kara parçalarına kadar erişmektedir. SEC, dünya üzerinde koordinasyonunu sağladığı gözlemevlerinden topladığı günlük gözlemler, dünya çevresinde dolaşan uydularından topladığı anlık verilerle bütün bu değişimleri bünyesinde toplar ve gerekli zamanlarda ilgili çevreleri önceden uyarır. Toplanan bu verileri kullanarak sonraki günler için güneş aktivitesi ve dünyaya etkileriyle ilgili öngörü raporları hazırlamaktadır. Bu merkez anlık uydu gözlemlerini geliştirmek ve çeşitlendirmek için sürekli yenilenme içerisinde.

Uyduların dolaştığı ortamda enerjik elektron, proton ve iyon ölçümleri yapan GOES-8 ve GOES-9 adlı uyduların enerjik elektron ölçümleri üç ayrı enerji seviyesinde ölçüm yapacak duruma getirilmiştir. Bu gelişim daha önce büyük güneş patlamaları sırasında doyuma uğrayan x-ışın detektörlerinin şimdi daha duyarlı bilgi göndermesini sağlayacaktır. Gerek sayısal olarak, gerek grafik ortamında bu uyduların gönderdiği verileri her beş dakikada bir yenilenmiş olarak internet içerisinde 24 saat boyunca bu merkezden elde etmek mümkündür.

Dünya ile güneş arasına güneşi sürekli olarak görebileceği bir yörüngeye yerleştirilen WIND adlı bir uydu ile güneş rüzgarı ölçümleri yapılmaktadır. Uydu

öyle bir mesafeye yerleştirilmiştir ki, güneş rüzgarında ki değişimleri yarım saat ile bir saat içerisinde dünyaya iletacaktır. Yeni devreye giren ACE adlı uydu ile yapılan gözlemler alarm verilme süresini daha da önceye çekmiştir. Böylece geomagnetik fırtınalara karşı erken önlem alabilme imkanı yaratılacaktır.

Özellikle tüm haberleşme uydularının, iç gezegenlere gönderilen uyduların ve ay modüllerinin dış kısımları, uzay radyasyonundan daha az etkilenmeleri için gümüş veya altın bir baraka ile kaplanmıştır. Bu tabakanın en belirgin özelliği yansıtıcı olmasıdır. Güneş ışınları yansıtılarak uydunun ısınması engellenmiş olur. İkinci neden ise özellikle altının iyi bir iletken olmasıdır. Yer yörüngeli uyduların büyük bir kısmı Van Allen manyetik kuşakları içerisinde bulunurlar. Bu kuşaklar güneşten ya da yıldızlar arası ortamdan gelen yüklü parçacıkları hapsederek, kutup ışımalarına neden olurlar. Bu parçacıkların oluşturdukları elektrik alan, uydudaki elektronik aletlerin çalışmasını engeller. Altın barak oluşan elektriği toplamaya yarar. Özellikle haberleşme uydularının anten bağlantıları bile altın barak ile kaplanmıştır. Üçüncü bir neden ise mikron büyüklüğündeki asteroitlerin uydunun iç kısımlarına zarar vermesini engellemek içindir.

Çizelgeler dizini

Tablo No Açıklama

Tablo 2.1. İç kuşak ile dış kuşaktaki elektronların ve protonların karşılaştırması.....	8
Tablo 2.2. Güneş aktivitesi.....	10
Tablo 3.1. Uzay çevresinin radyasyon kaynağına göre klasik etkileri.....	12
Tablo 3.2. Radyasyon kaynağına göre cihaz içinde meydana gelebilecek etkiler.....	13
Tablo 3.3 .Dielektrik bozma gücüne dayanıklılık.	16
Tablo 3.4 Bazı maddeler için aktivasyon enerjisinin değerleri.....	21
Tablo 3.5. SEU dayanıklılığı olmayan bir cihazın SEU oran ve etkileri yönünden incelenmesi.....	34
Tablo 3.6. Bazı maddeler için elektron hole çiftinde üretilen enerji miktarı.....	36
Tablo 3.7 Hata oranları.....	42

Şekiller dizini

Şekil No Açıklama

Şekil 1.1	Dünya magnetosferi ve gezegenler arası ortam.....	2
Şekil 2.1.	Dünya çevresindeki radyasyon kuşakları.....	6
Şekil 2.2.	.Denizden 440 km. yükseklikte Güney Atlantik Anormali (SAA) içinde 34 MeV üzerindeki enerjiler için proton eğrileri.....	9
Şekil 2.3.	Radyasyon dozu ile kullanılacak kalkan arasındaki bağıntı.....	11
Şekil 3.1.	İletkenlik kararlılığının ölçümü.....	26
Şekil 3.2.	Radyasyon altında devam eden düzlemsel iletkenlik testi.....	27
Şekil 3.3.	Galaktik kozmik ışınların elektronik cihaz içinde enerjilerini bırakması..	29
Şekil 3.4.	Radyasyonun madde içinden geçişi.....	31
Şekil 3.5.	Mikroelektronik parçacıklar üzerinde uzay radyasyonun etkileri.....	35
Şekil 3.6.	Büyük kütleli iyonlar için paralel borular biçiminde bir aygıt modeli.....	36
Şekil 3.7.	Bir θ açısında birbirine paralel parçacıkların olayları.....	37
Şekil 3.8.	SEU'ları hesaplama yöntemleri.....	38
Şekil 3.9.	LET'e karşı kesit ölçümü.....	39
Şekil 3.10.	400 km'lik bir yörünge için LET spektrumunun integrali	40
Şekil 3.11.	Doğrusal enerji transferi.....	41
Şekil 3.12.	Ekvatorial yörünge için yıllık doz.....	43
Şekil 3.13.	Ekvatorial yörünge için bir fonksiyonu olarak proton, elektron ve bremsstrahlung'tan kaynaklanan yıllık doz miktarı.....	44
Şekil 3.14.	Metal oksit yarı iletken (MOS) transistörleri içindeki etki ile eşik değişiminin tipik olarak değişimi.....	45
Şekil 3.15.	Yapı kusurları.....	46
Şekil 3.16.	Silikon içinde meydana gelen zararlar.....	47
Şekil 4.1.	Uydu haberleşme sistemi.....	49
Şekil 4.2.	Güneş pillerinin çalışma ilkesi.....	51
Şekil 4.3.	Uyduların spin hareketi.....	61
Şekil 4.4.	Uzay radyasyonunun haberleşme uyduları üzerine etkileri.....	62

Kaynaklar

1. <http://www.sec.noaa.gov/>
2. <http://bang.lanl.gov/solars/eng/homepage.htm>
3. <http://www.ngdc.noaa.gov/>
4. <http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/spacerad.html>
5. <http://see.msfc.nasa.gov/ire/iretech.htm>
6. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Mayetosfer>
7. <http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/spacerad.html>
8. <http://helios.gsfc.nasa.gov/gcr.html>
9. http://setas-www.larc.nasa.gov/LDEF/RADIATION/rad_exp_enviro.html
10. <http://see.msfc.nasa.gov/ire/iretech.html>
11. <http://parts.jpl.nasa.gov/asic/title.page.html>
12. <http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/spc-chrg.html>
13. Public Review, 2006a "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 33-47
14. Public Review, 2006b "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 35
15. Public Review, 2006c "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 35
16. Public Review, 2006ç "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 36
17. Public Review, 2006d "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 36-37
18. Public Review, 2006e "Space engineering-Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 37
19. Public Review, 2006f "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06
Draft 2. 37-38

20. Public Review, 2006g "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 38-39
21. Public Review, 2006h "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 40
22. Public Review, 2006i "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2, 40-41
23. Public Review, 2006i "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 41-42
24. Public Review, 2006j "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 42
25. Public Review, 2006k "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 43)
26. Public Review, 2006l "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 43
27. Public Review, 2006m "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 43-44
28. Public Review, 2006n "Space engineering-Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 44-45
29. Public Review, 2006o "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 45-46
30. Public Review, 2006ö "Space engineering - Spacecraft charging" ECSS-E-20-06 Draft 2. 46-47
31. <http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/see.html>
32. http://parts.jpl.nasa.gov/docs/Radcrs_Final.pdf
33. <http://www.spacerad.com/>
34. <http://www.aero.org/capabilities/seet/primer.html>
35. <http://www.eas.asu.edu/~holbert/eee460/tiondose.html>
36. (<http://www.qsl.net/ta1kb/aselsan/uyduhabsistemi.html>
37. <http://www.sagres.itu.edu.tr/page.tr.php?id=73>

Özgeçmiş

1977 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara' da tamamladıktan sonra 1995 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında Fizik Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Aynı yıl askerlik hizmetine başladı. 2001 yılında terhis oldu. 2002 yılında Hava Kuvvetleri Komutanlığına Muhabere Elektronik Bilgi Sistemleri (MEBS) Subayı olarak katıldı. Aynı yıl evlendi.

Halen Hava Kuvvetleri Komutanlığı Çanakkale Hava Radar Mevzi Komutanlığında MEBS Bölük Komutanı olarak görev yapmaktadır.