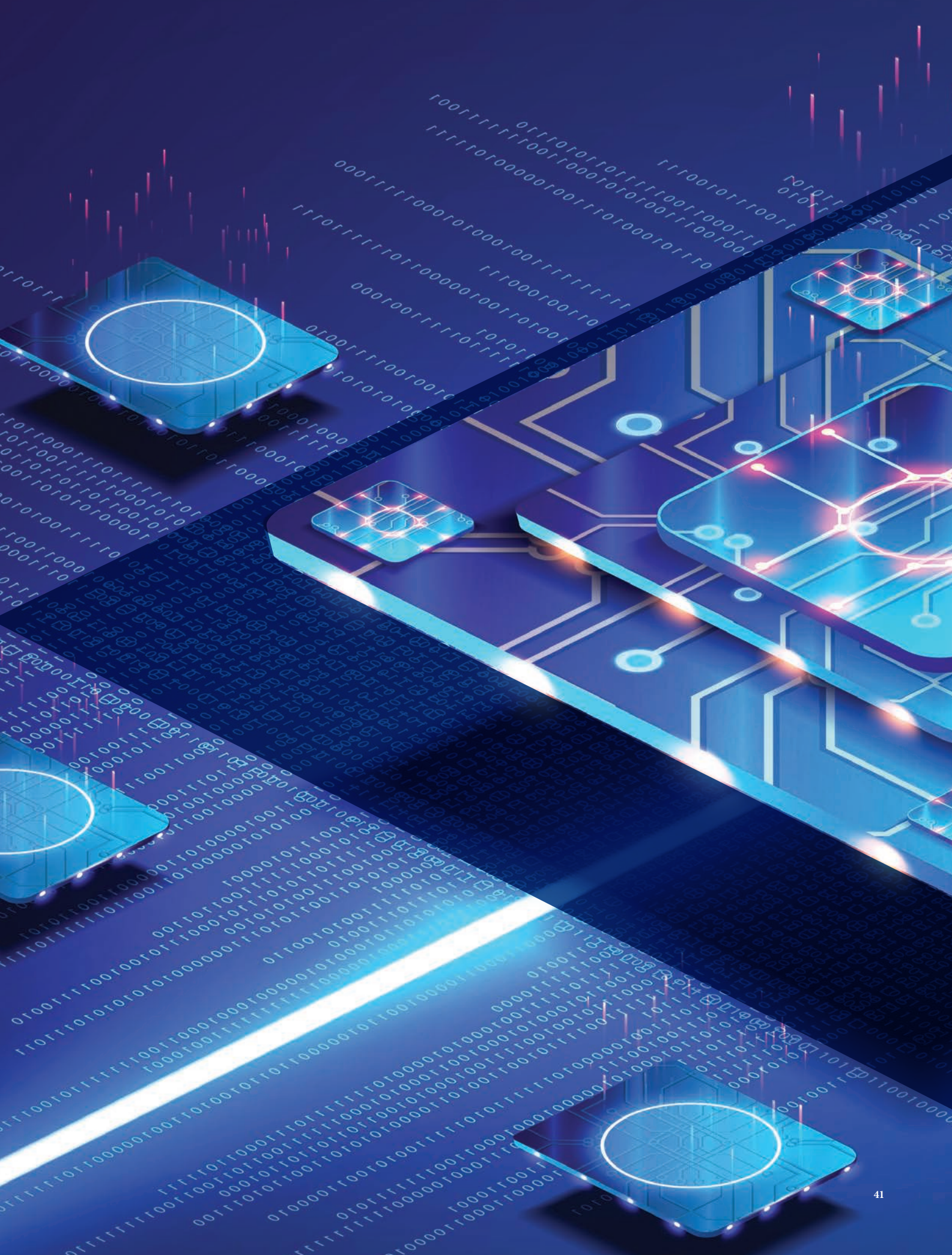


Yerli ve Millî Uzay Radyasyonu Dedektörü Göreve Hazır!

Dr. Buğra KOCAMAN [TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (TÜBİTAK UZAY) ile Bolu Abant İzzet Baysal Üniuersitesi Nükleer Radyasyon Dedektörleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (NÜRDAM) araştırmacıları tarafından, uzay radyasyonunun uydular üzerinde bıraktığı radyasyon dozunu ölçmek amacıyla tasarlanıp üretilen Millî Uzay Radyasyonu Dedektörü (MURaD) göreve hazır!



Uzay ortamının vakum, mikrometeoroidler, sıcak/soğuk döngüler ile atmosferik etkiler gibi yıkıcı ve zorlayıcı koşullarından biri de uzay radyasyonudur. Güneş'te meydana gelen hareketlilikler sonucu ortaya çıkan yüksek enerjili parçacıklar ve yıldız patlamaları sonucu yıldızlararası ortamdan gelen kozmik ışınlar uzay radyasyonunu oluşturur. İyonlaştırıcı etkisi bulunan bu radyasyon, her türlü elektronik ve optik bileşenin çalışma performansına karşı ciddi bir tehdit unsurudur. Dolayısıyla, her türlü uzay görevinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için radyasyon etkilerinin dikkate alınması gerekir.

Uzay radyasyonunun, Hapsolmuş Radyasyon (Trapped Radiation), Güneş Kaynaklı Enerjik Parçacıklar (Solar Energetic Particles) ve Galaktik Kozmik Radyasyon (Galactic Cosmic Radiation) olmak üzere üç ana kaynağı vardır. Uzay radyasyonu elektron, proton, alfa parçacıkları ve ağır iyonlar gibi yüksek enerjili parçacıklar içerir. Bu parçacıklar, ekipman bileşenleri üzerinde Toplam İyonlaştırıcı Doz, Yer Değiştirme Hasarı ve Tekil Olay Etkileri olarak adlandırılan üç farklı etkiye yol açar.

Toplam İyonlaştırıcı Doz (Total Ionizing Dose – TID), kalıcı ve biriken (kümülatif) bir etki olması sebebiyle elektronik bileşenlerin yarı iletken veya yalıtkan (dielektrik) kısımlarını zamanla etkileyerek eşik voltaj değerlerinin kayması, kaçak akımların ve tüketimin artması, zamanlama değişiklikleri ve fonksiyon kayıpları gibi etkilere yol açar. Toplam İyonlaştırıcı Doz, uzayda yer alan ekipmanların çalışma performansını etkileme ihtimali en yüksek radyasyon etkilerinden biridir. Bu sebeple, Millî Uzay Radyasyon Dedektörü (MURaD), uyduların maruz kalacakları Toplam İyonlaştırıcı Doz seviyesini tespit etmek amacıyla tasarlandı.

Yer Değiştirme Hasarı (Displacement Damage – DD), yüksek enerjili parçacıkların sebep olduğu güneş hücreleri gibi çift kutuplu ve optoelektronik donanımlar üzerinde meydana gelen kümülatif ama iyonlaştırıcı etkisi olmayan bir etkidir. Nötron, proton, elektron ve

ağır iyonlar gibi parçacıklar malzeme yapısındaki atomların yerlerini değiştirerek kristal yapının bozulmasına neden olur.

Tekil Olay Etkileri (Single Event Effects – SEE), yüksek enerjiye sahip tek bir parçacığın sebep olduğu kalıcı ya da geçici olarak gerçekleşebilen etkilerdir. Bu etkilere yüksek enerjili protonlar ve nötronlar ama çoğunlukla ağır iyonlar sebep olur. Proton ve nötronlar, aktif yarı iletkene sahip diyotlar, transistörler, entegre devreler, optoelektronik aygıtlar vb. bileşenler ile nükleer etkileşime girerek yükün belirli bir alanda birikmesine; ağır iyonlar ise elektronik bileşenlerin doğrudan iyonlaşmasına sebep olur. Bu etkinin yol açtığı en yıkıcı (kalıcı) etkilerden biri söz konusu elektronik bileşenin radyasyon etkisiyle yüksek akım çekmesi ve tüm ekipmanın bozulmasıdır. Yıkıcı olmayan (geçici) etkiler ise, verilerde bozulmalara veya cihazın farklı işlevsel durumlarda kalmasına neden olur.

Uzay radyasyonunun yıkıcı etkilerinin tespit edilebilmesi amacıyla, TÜBİTAK UZAY araştırmacıları tarafından, uyduların görev süreleri boyunca maruz kalacağı radyasyon seviyelerini ölçmek üzere uydularda kullanılabilecek, Millî Uzay Radyasyon Dedektörü (MURaD) tasarlandı ve üretildi. Bu dedektör, radyasyon dozunun ölçülmesi amacıyla, sensör seviyesinde Türkiye'de üretilen ve uydularda da kullanılabilecek bir şekilde tasarlanan ilk radyasyon dedektörü olması bakımından son derece önemli. Dedektör üzerinde üç farklı radyasyon sensörü bulu-



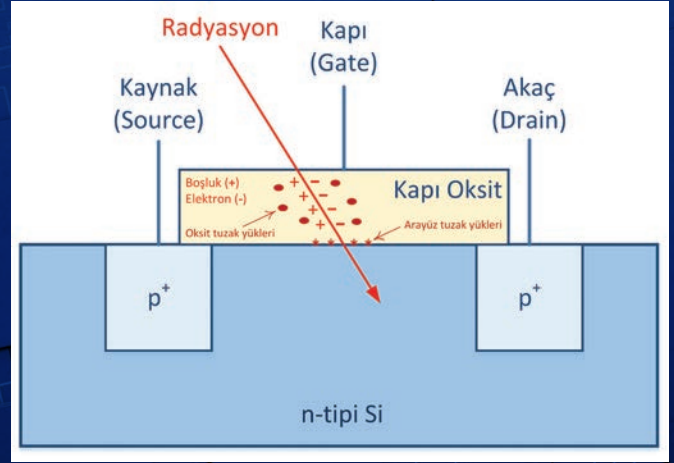
nuyor. Bu sensörlerden biri, üretim sürecinin tüm aşamalarında yerli imkânlar kullanılarak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Nükleer Radyasyon Dedektörleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (NÜRDAM)'da üretildi. Nükleer Radyasyona Duyarlı Alan Etkili Transistör (NürFET) olarak adlandırılan bu radyasyon sensörü, genel adı p-tipi Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör (p-type MOSFET) olan, amaca yönelik biçimde üretilmiş bir elektronik bileşendir. Radyasyona hassas (duyarlı) olarak tasarlanıp üretilen NürFET sensörleri radyasyon dozunu ölçmek amacıyla geliştirildi.

Transistörler, hayatımızda yer alan teknolojilerin hiç kuşkusuz en temel ve en önemli elektronik bileşenlerinden biridir. Bugün kullandığımız akıllı telefonların ve bilgisayarların, geçmiş teknolojilere göre çok daha hızlı ve çok daha fazla işlem yapabilmelerini sağlayan en önemli unsur, entegre devrelerin içerisinde yer alan transistör sayıdır. Küçülen boyutları sayesinde, artık entegre devrelerin içerisinde çok daha fazla transistör kullanılabilir ve böylelikle daha fazla işlem yapabilmek kapasitesine sahip, daha hızlı ve daha verimli şekilde çalışan çipler ve entegre devreler elde ediliyor. Transistörlerin belirli bir amaca yönelik şekilde üretilmesi, onların farklı amaçlar için de kullanılabilmesini sağlıyor.

NürFET'ler de radyasyonu ölçmek üzere üretilmiş transistörlerdir. NürFET radyasyon sensörü, 8 mm (en), 10 mm (boy), 7,5 mm (yükseklik) boyutlarındadır ve kütlesi 0,7 gramdır. Transistörün böyle küçük ve hafif bir şekilde geliştirilerek üretilmesi, elektronik bileşenlerin yüksek katma değere sahip olarak pazarlanabilmesini sağlıyor.

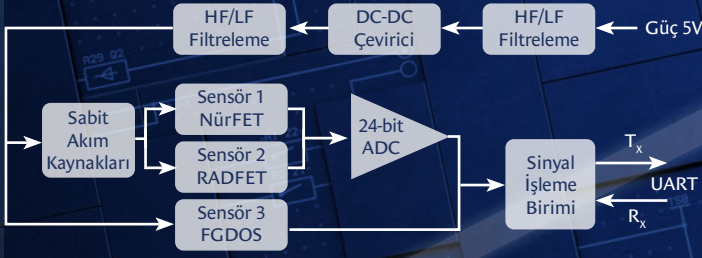
NürFET radyasyon sensörünün çalışma prensibi, sensörün radyasyona maruz kaldıkça eşik voltaj değerindeki (V_{th}) kaymanın tespit edilmesi mantığına dayanıyor. Sensör, radyasyona maruz kaldıkça oksit tabakada oluşan yükler, sensörün eşik voltaj değerinin

kaymasına neden olur. Bu kayma miktarı, maruz kalınan radyasyon dozu ile orantılı olduğu için, eşik voltaj değerinin ölçülmesiyle maruz kalınan radyasyon dozu tespit edilebilir.



Şekil 1. Radyasyon sebebiyle NürFET sensörünün oksit tabakasında oluşan yükler

NürFET'lerin oksit tabaka kalınlıkları, mikrometre (metrenin milyonda biri) seviyelerinden nanometre (metrenin milyarda biri) seviyelerine kadar üretilebiliyor. Farklı oksit tabaka kalınlıklarına ve türlerine sahip sensörler, ölçüm hassasiyetini, yani çözünürlüğünü etkiliyor. Radyasyon, kalın bir oksit tabakadan geçerken, radyasyon ile oksit tabakanın etkileşme süresi daha fazla olduğu için oksit tabakada daha fazla yük oluşturur. Radyasyon, ince bir oksit tabakadan geçtiğinde ise, radyasyon ile oksit tabakanın etkileşme süresi görece daha az olduğu için, oksit tabakasında daha az yük birikir, yani sensörler radyasyondan daha az etkilenir. Bu sebeple, ince oksit tabaka kalınlığına sahip sensörlerin kalın oksit tabakaya sahip sensörlere göre çözünürlükleri daha düşüktür. Uydur ekipmanlarına yönelik tasarlanmış bir elektronik devre üzerinde, kalın oksit tabakaya sahip sensörler ile daha detaylı (daha yüksek çözünürlüklü) ölçüm yapılabilirken, ince oksit tabakaya sahip sensörler ile daha düşük çözünürlükte ama daha uzun süre ölçüm yapılması mümkündür. Dolayısıyla, sensörün kullanılacağı elektronik devreye göre sensörün kalın veya ince oksit tabakalı olacağına karar verilir.



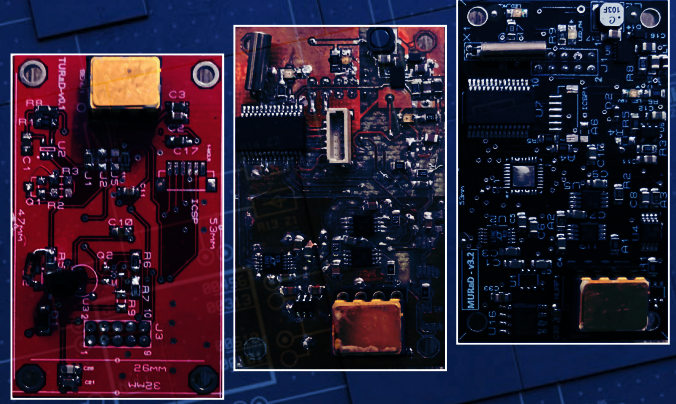
Şekil 2. Millî Uzay Radyasyon Detektörü (MURaD)'ın fonksiyonel blok şeması

MURaD, radyasyon sensörleri ve bu radyasyon sensörlerini çalıştıracak ve okuyacak elektronik devre (sensör elektroniği) kısmı olmak üzere iki ana kısımdan oluşuyor. NürFET radyasyon sensörlerinin uzayda ilk defa kullanılacak olması sebebiyle olası olumsuz bir durumla karşılaşılması ihtimaline karşın dedektörün işlevselliğini kaybetmemek amacıyla dedektör üzerinde, uzay tarihçesine sahip RADFET ve FGDOS adında iki farklı radyasyon sensörü daha kullanıldı.

Şekil 2'de gösterilen fonksiyonel blok şemada, MURaD'ın çalışma prensibi gösteriliyor. MURaD, 5V'lık bir gerilim (voltaj) ile çalışıyor. Yüksek ve alçak frekanslardaki gürültülerin (noise), devrenin çalışma performansını etkilememesi için filtreleme devreleri yer alıyor. DC-DC çevirici ile sensörlerin ve elektronik bileşenlerin ihtiyaç duyduğu çalışma gerilimleri sağlanıyor. Sabit akım kaynakları, NürFET ve RADFET radyasyon sensörlerini çalıştırıyor. Sinyal işleme birimi ise analog-dijital çeviriciden (ADC) ve FGDOS sensöründen aldığı verileri okuyarak (işleyerek), ilgili ölçüm bilgilerini uydu bilgisayarına gönderip devreyi tamamlıyor.

Dedektörün geliştirme faaliyetlerine 2017 yılında başlandı ve 2019 yılına kadar 3 farklı prototip üretilerek dedektör tasarımına son hâli verildi. Prototip geliştirme çalışmaları sayesinde, sensörlerin istenilen şekilde çalıştırılması için gereken elektronik devre tasarımı daha detaylı olarak belirlendi. Örneğin, ilk prototip çalışmalarında, sensörün daha kararlı (stabil) bir şekilde çalışması için gereken detaylar net bir şekilde belirlenerek, bir sonraki prototipte gerekli değişikliklerin yapılması ve elektronik devre performansının daha iyiye götürül-

mesi amaçlandı. Farklı elektronik bileşenlerin seçilmesi, gömülü yazılımların güncellemesi, devredeki gürültüyü en aza indirmek amacıyla filtreleme elemanlarının eklenmesi gibi değişiklikler bunlardan bazılarıdır. Şekil 3'te bu süreç içerisinde geliştirilen üç prototip kartı da görebilirsiniz. Şekil 4'te de MURaD'ın 1 TL ile birlik-



Şekil 3. MURaD prototipleri (sol: ilk prototip, orta: ikinci prototip, sağ: son prototip)

te fotoğrafı gösteriliyor. Uyduların tasarım, taşıma ve fırlatma maliyetini arttıran en önemli etmenler ekipmanların hacmi, kütlesi ve enerji tüketimi gibi özellikleridir. Maliyetin azaltılması için bu özelliklerin mümkün olduğunca en makul seviyede tutulması gerekir. MURaD, boyutlarının küçük olması [32 mm (en), 53 mm (boy), 20 mm (yükseklik)], toplam kütlesinin 10 gramdan hafif olması ve düşük enerji tüketimine (30 mW) sahip olması gibi avantajlarından ötürü uydu teknolojileri konusunda çok önemli avantajlar sağlıyor.

Radyasyon dozunu ölçmekte en büyük zorluk aslında radyasyonun kendisidir. Radyasyona maruz kalan donanımlar bir seviyeden sonra bozulmaya başladığı için, maruz kalınan radyasyon dozu da yanlış ölçülebilir. Bu sebeple, elektronik devre üzerinden radyasyonu gerçek zamanlı (anlık) olarak ölçmek pek kolay değildir. Öncelikle tasarlanan elektronik devrenin ve radyasyon sensörlerinin doğru şekilde çalıştığından, ardından da tasarlanan elektronik kartın ve sensörlerin maruz kalınan radyasyon dozunu (radyasyon altında!) istenilen şekilde ölçtüğünden emin olunması gerekir. Buradaki en önemli noktalardan biri, sensörlerden alınan verilerin anlamlı olmasıdır. Örneğin, radyasyon altında -sensörler de

dâhil- hemen her bileşen değişime uğrar; bu değişimler veya kaymalar testler sırasında rahatlıkla tespit edilebilir. Fakat meydana gelen bu değişimlerin veya kaymaların takip edilebilir bir şekilde gerçekleşmesi elde edilen verilerin anlamlandırılmasını mümkün kılar. Eğer sensörler ve sensör elektroniği bu gereksinimleri karşılıyorsa, radyasyon dozu ölçülebilir demektir.

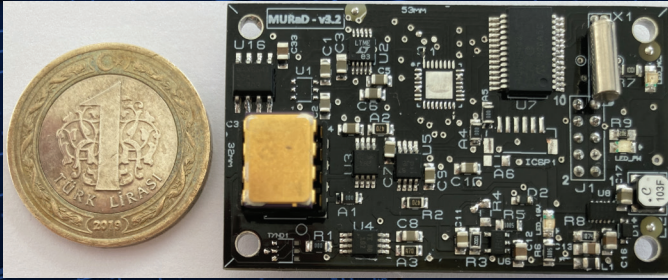
Yapılan radyasyon testleriyle, biri yerli imkânlar kullanılarak üretilen (NürFET), üç farklı radyasyon sensörüyle, MURaD radyasyon dozunu başarılı bir şekilde ölçerek güvenilirliğini kanıtladı. Her türlü uzay görevi için uyduların maruz kalacağı doz seviyelerinin analizi, çeşitli simülasyon programları aracılığıyla TÜBİTAK UZAY'da başarılı bir şekilde yürütülüyor. Uyduların görevlerine göre maruz kalacakları doz seviyelerinin tahmin edilmesi, bu analiz programları ile gerçekleştiriliyor ve uydunun hem elektronik hem de mekanik tasarımları bu kapsamda şekilleniyor.

2020 yılı itibarıyla dedektörün uydularda kullanılacak modeli olan "Uçuş Modeli" üretimlerine başlandı. 2021 yılı içerisinde de entegrasyon sürecinin tamamlanma-

sı planlanıyor. Dedektörün analiz, tasarım, üretim ve test süreçleri başarı ile gerçekleştirildi. Son basamak olan, yörüngede yapılacak gerçek zamanlı ölçümlerle de dedektörün geliştirilme amacı hedefine ulaşacak.

Bu tasarım ve üretim faaliyetleri, uzay radyasyonu dozunun, uydunun görev süresi boyunca ölçülmesi amacıyla yapılmış çok önemli gelişmelerdir. Bununla birlikte, söz konusu çalışmalar, yerli ve millî imkânlar ile üretilerek uzayda kullanılacak seviyeye getirilmiş ilk elektronik bileşenin ortaya çıkmasını sağlaması açısından da son derece önemlidir. NürFET'ler sadece radyasyon sensörü olarak değil, üretim basamaklarında uygulanacak değişikliklerle farklı amaçlar için kullanılacak elektronik bileşenlere de dönüştürülebilir. Bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında, uydularımızda kullandığımız belirli elektronik bileşenleri kendi imkânlarımızla üretip bu konuda yurt dışına bağımlılığı azaltmamız mümkün olabilir. Uydularımızın başarı ile gerçekleştirilen tasarım, montaj, entegrasyon ve test faaliyetlerinin yanı sıra, en temel elemanları olan elektronik bileşenlerin üretimi de bu gibi çalışmalar sayesinde mümkün olabilecektir.

Elektronik bileşen üretimi, Türkiye için kritik öneme sahip tüm projelerde ciddi önem taşıyor. Çünkü elektronik bileşenlerin tedarik edilememesi veya tedarik aşamasında yaşanan gecikmeler ve bütçesel sorunlar yürütülen projeleri riske atıyor. Dolayısıyla, elektronik bileşenlerin üretiminin ne kadar önemli olduğunun anlaşılması ve bu konuda çalışmaların artırılarak sürdürülmesi gerekiyor. ■



Şekil 4. MURaD'ın 1 TL ile kıyaslanmış fotoğrafı

Kaynaklar

- Buğra Kocaman vd., Total ionizing dose analysis of a native detector and a satellite on orbit, *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*, 2178, 030006, 2019.
- Buğra Kocaman vd., Development of radiation detector (radiation module) with three different sensors for space applications, *RAP Conference Proceedings*, cilt. 4, sayfa 139-144, 2019.
- Buğra Kocaman, Uydularımız Tehdit Altında: Uzay Radyasyonu! *Bilim ve Teknik*, Ekim 2019.
- <https://nrdc.ibu.edu.tr>
- <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/milli-sensorlu-dedektorlerin-yerli-uydulara-entegrasyonu-basladi/1605814>
- <https://www.trthaber.com/haber/bilim-teknoloji/milli-sensorlu-dedektorlerin-yerli-uydulara-entegrasyonu-basladi-434656.html>