Gecikmeli Tel Odası Tasarımı, Benzetimi Ve Üretimi

Program Kodu: 1005

Proje No: 114F467

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Veysi Erkcan ÖZCAN

Yurt Dışı Araştırmacı:
Doç. Dr. Gökhan ÜNEL

Bursiyerler:
Ezgi ERGENLİK
Saime GÜRBÜZ (SARIKAYA)
Zehra İSTEMİHAN

HAZİRAN 2017
İSTANBUL

ÖNSÖZ

“Gecikmeli Tel Odası Tasarımı, Benzetimi Ve Üretimi” başlıklı projede atomaltı parçacıkların izlerinin sürülmesinde ve parçacık demetlerinin enstrümantasyonunda kullanılan bir gazlı parçacık algıcı tasarlanmış, benzetimi yapılmış ve üretilmiştir. Algıcın mekanik aksamı, okuma elektroniği, gaz sistemi tamamen bu proje dahilinde gerçekleştirilmiş, bu bileşenlerinin testleri başarıyla tamamlanmıştır.

Bu proje TÜBİTAK tarafından 114F467 nolu 1005-Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı kapsamında desteklenmiştir.

TÜBİTAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....ii

İÇİNDEKİLER.....iii

TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ.....iv

ÖZET.....v

ABSTRACT.....vi

1. GİRİŞ..... 1

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ..... 1

3. GEREÇ VE YÖNTEM..... 3

3.1. Kuramsal çalışmalar 3
3.2. GeTO Tasarlanması 7
3.3. GeTO Üretimi 7
3.4. Demet Hattında Ölçüm Alınması 14

4. BULGULAR..... 15

5. SONUÇ..... 16

KAYNAKLAR.....17

TÜBİTAK

TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

Şekil 1. OÇTO (üst) ve GeTO (alt) çalışma ilkeleri 2
Şekil 2. GeTO inşası için gerekli tasarım hesaplarını yapan yazılımın ekran görüntüsü 4
Şekil 3. Garfield++ kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilen GeTO benzetiminden bazı sonuçlar 5
Şekil 4. TINA-TI ile yapılmış benzetimden örnek ekran çıktıları 5
Şekil 5. GeTO sinyallerini okumak için kullanılacak elektronik devrenin şeması 6
Şekil 6. OpenSCAD ile hazırlanmış GeTO tasarım yazılımından ekran görüntüleri 7
Şekil 7. Mekanik üretim aşamaları 8
Şekil 8. Katot tellerinin FR4 iskelete gerilmesi ve ESEM görüntüleri 9
Şekil 9. Okuma elektroniği ile ilgili çalışmalar 10
Şekil 10. Okuma elektroniği olmadan yapılan testler 11
Şekil 11. Okuma elektroniğinin kutuya yerleştirilmesi 12
Şekil 12. GeTO'ya 3.3kV civarında anot gerilimi verildiğinde alınan bazı örnek osiloskop görüntüleri 12
Şekil 13. Veri toplama elektroniği ve kalibrasyonu 13
Şekil 14. CERN Demet Enstrümantasyon Grubu Gazlı Algıç Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen ölçümler 14

ÖZET

Yüklü parçacıkların izlerini takip ederek başka yöntemlerle elde edilemeyecek kadar duyarlı görüntü elde edilmesi, savunma sanayinden, tıp alanına, temel bilimsel araştırmalardan sınır güvenliği sağlamaya veya jeolojik radyasyon ölçümleriyle deprem öngörüsü yapmaya kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Özellikle 1960lı yılların sonundan itibaren geliştirilen gazlı algıçlar (detektörler) uzun ömürlü olmaları ve bakım kolaylığı bakımından tercih edilir olmuşlardır. Bunlardan birisi olan Gecikmeli Tel Odası (GeTO), 1992 yılında Charpak'a Fizik Nobel ödülünü getiren "Çok Telli Oranlı Oda" algıcının basitleştirilmiş bir halidir. İcat edildiği yıldan bu yana kullanım kolaylığı ve konum duyarlılığı açısından özellikle yüklü parçacık demetlerinin profil ölçümlerinin ve modern parçacık fiziği deneylerinin vazgeçilmez bir parçası olarak kendini ispatlamıştır. Ekonomik ve dayanıklı olması ölçüm yapılacak hacim büyüdükçe yarıiletken alternatiflerinin önüne geçmesini sağlamaktadır.

Bu projede demet hatlarında veya kozmik ışınların gözlenmesinde kullanılmak üzere bir GeTO tasarlanmış, kullanıcı ihtiyaçlarına göre tasarımı yenilemeye fırsat tanıyacak bir yazılımın geliştirilmiş, tasarlanan algıcın benzetimleri yapılmış ve Boğaziçi Üniversitesi'ndeki Yüksek Enerji Enstrümantasyon Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Algıcın çeşitli kısımları Avrupa Nükleer Araştırmalar Organizasyonu'nda (CERN) da test edilmiş ve yurtdışındaki benzer algıçlarla rekabet edebilir nitelikte olduğu görülmüştür. Böylelikle ülkemizde ilk kez bir gazlı parçacık algıcı üretelmiş ve aynı teknoloji şemsiyesi altındaki başka ürünlerin geliştirilebilmesi için de ilk adım atılmıştır.

Anahtar sözcükler: Tel Odası, Gazlı Parçacık Algıcı, GeTO

ABSTRACT

Tracking charged particles to generate high-resolution images has a wide range of applications including but not limited to those in the defense industry, in medical and basic sciences, in predictions of earthquakes through measurements of geological radioactivity and even in improving the security of national borders. In particular gaseous detectors that have been developed after the late 60s have often been the detector of choice thanks to their durability and ease of maintenance. One such detector, the Delay Wire Chamber (DWC), is a simpler form of the Multi Wire Proportional Chamber (MWPC), which brought Charpak his 1992 Nobel Prize in Physics. Since its invention, it has proven itself as an indispensible piece of equipment at profiling particle beams and as a detector in modern particle physics experiments, thanks to its ease of use and the excellent position resolution it provides. Its robustness and low cost make it the detector of choice over its semiconductor alternatives, whenever the active volume of measurement is substantial.

In this project, a Delay Wire Chamber which can be used for beam diagnostics as well as for cosmic ray tracking has been designed. A software program has been developed for automating the design process according to the requirements of the users. The simulations of the designed DWC has been performed and the detector has been constructed at the High Energy Instrumentation Laboratory at Boğaziçi University. Various parts of the constructed DWC has been tested at the European Organization for Nuclear Research (CERN) and observed to be competitive amongst similar detectors from other countries. This is the first construction of a gaseous particle detector in Turkey and constitutes the first step in the development of other products under the same technology group.

Keywords: Wire Chamber, Gaseous Particle Detector, DWC

1. GİRİŞ

İnsan gözü ve hatta en gelişmiş optik mikroskopların göremediği yüklü atomaltı parçacıkları algılayabilmek kolay değildir. Bu nedenle parçacıkları, geçtikleri yollarda bıraktıkları izler ile takip edebilmek için 20. yüzyılda buhar odası (1927 Nobel Fizik Ödülü), köpük odası (1960 Nobel Fizik Ödülü), gaz odası (1996 Nobel Fizik Ödülü) gibi aletler icat edilmiş ve kullanılmıştır. Bu gereçler güçlü bir manyetik alan içerisinde kullanıldıkları zaman parçacıkların yollarının manyetik alanda bükülme miktarından yola çıkarak, parçacıkların momentumlarını ölçmekte de kullanılırlar. Genel olarak iz sürücü olarak adlandırılan bu algıçların en modern sürümleri ışık hızına yakın hızlara ulaşabilen parçacıkların dahi bıraktıkları izlerin elektronik ortama geçmesini sağlarlar. Sıralamanın sonunda yer alan gaz odası algıçları, içerdikleri gazın geçen yüklü parçacıklarca iyonize edilmesi sonucunda oluşan serbest elektronları yüksek gerilim altında algılama tellerine sürükletme ve bunlarda biriken yükü toplayarak elektronik olarak okuma yöntemi ile çalışırlar.

Dünyadaki çeşitli hızlandırıcı laboratuvarlarında ve hızlandırıcı kullanılan endüstriyel uygulamalarda farklı amaçlarla kullanılan bir çok gaz odası vardır. Ülkemizde parçacık algıçları, hangi teknolojiden olursa olsunlar, yurtdışından temin edilerek kullanıma sokulduğu için, tasarlama ve üretim konusunda bilgi birikimi oluşturulamamış, Türkiye bu alanda yurt dışına bağımlı hale gelmiştir. Algıçların kullanımları ise araştırma laboratuvarlarının dışına yeterince çıkamamış ve alternatiflerine göreceli olarak basit ve ekonomik olan (hatta göreceli olarak basit bir sürümü yurtdışında lise ve üniversitelerde eğitim amaçlı dahi kullanılabilen) bu teknoloji toplumun genel kullanımına açılamamıştır.

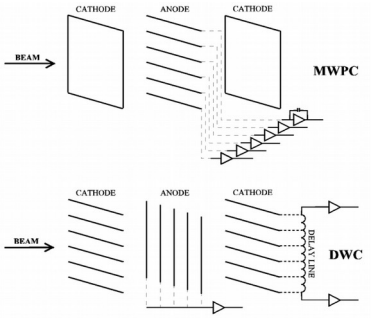
Bu projede kullanılan gaz karışımı, okuma basitliği ve konum duyarlılığı bakımından en optimal iz sürme algıcı olarak Gecikmeli Tel Odası (GeTO) seçilmiştir. Ülkemizde çalıştırılmakta ve proje halinde olan hızlandırıcıların ihtiyaçları göz önünde bulundurularak bir GeTOnun tasarımı gerçekleştirilmiş, benzetimleri yapılmış ve üretilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüzde parçacıkların izlerini sürmekte kullanılan algıçlardan en yaygın olanları gaz odaları ve silikon tabanlı algıçlardır. Her ikisi de içlerinden geçen yüklü parçacıkların iyonizasyon/uyarma yapması ve bunun sonucu ortaya çıkan yük taşıyıcıların (örneğin elektronların) yarattığı akımların okunması yolu ile çalışır. Ancak silikon tabanlı algıçlar gaz odalarına göre daha düşük gerilim ile çalışsalar da (ölçek olarak kilovolta karşı dekavolt),

düşük ısıl kararlılık, yüksek kanal sayısı gerektiren okuma elektroniğinin karmaşıklığı, ve hem yapım, hem de işletme maliyetlerinin yüksekliği gibi sebeplerden ötürü özel uygulamalar haricinde tercih edilmemektedir. Oysa gazlı algıçların iyileştirilmiş bir hali olan GeTO, kullanılan gazın yanıcı olmaması (iso-Bütan yerine 50-50 Argon-CO_2 karışımı), okuma kanalı sayısının azlığı (düzlem başına 2 kanal) ve üretim/kullanım kolaylığı bakımından bir üstünlük teşkil etmektedir.

GeTO algıcı 1980'lerin başında CERN'de demet hattı enstrümantasyon grubu tarafından geliştirilmiştir. Orantısal Çok Telli Odadan (OÇTO) ilham alınmıştır [1,2]. OÇTO üretimi ve bakımındaki zorlukları azaltmak için farklı sonuç çıkarma teknikleri kullanılmıştır. OÇTO bir gaz odası içerisinde bulunan iki levha ve bu levhaların arasında gerilmiş olan tellerden oluşmaktadır. Tellere (anot) yüksek gerilim uygulayarak ve levhaları topraklayarak, iki levha (katot) arasında sabit bir elektrik alan oluşturulmuştur. Gaz odasının içerisinden yüklü bir parçacık geçtiğinde gazı iyonlaştırır ve uygulanan yüksek gerilim sayesinde bu serbest kalmış elektronlar tellere taşınır. Sonrasında da her bir telden alınan sinyal ile parçacığın konumu ölçülebilir. OÇTO'daki temel sorunlardan bir tanesi tellerin levhalar arasında kalmasından dolayı herhangi bir mekanik sorun olup olmadığının dışarıdan gözle bakılıp tespit edilememesidir. Tellere hem yüksek gerilimin uygulanması hem de geçen parçacığın sinyallerinin bu tellerden okunuyor olması işin elektronik kısmını zorlaştırmaktadır. Ayrıca her bir tel için sinyal okuma ve işleme sistemine gereksinim duyulması, veri alımını zorlaştırmıştır. Yine de Gaz Odası ve Bulut Odası gibi algıçlarla kıyaslandığında kullanım kolaylığıyla uzun yıllar yüksek enerji deneylerinde kullanılmıştır. 1992 yılında G. Charpak "Parçacık algıçlarındaki buluşları, özellikle Orantısal Çok Telli Oda, ve katkılarından dolayı" Nobel ödülüne layık görülmüştür. OÇTO'daki bu sorunların giderilebilmesi için 80li yılların başında yine Charpak'ın da katkıları ile GeTO geliştirilmiştir [3]. GeTO'da, OÇTO'dan farklı olarak, levha kullanmak yerine anotlar da katotlar da iletken tel ile yapılmıştır. Yüksek gerilim yine anot tellerine uygulanır, ancak sinyaller katot üzerinden okunur [4]. Ayrıca elektronik okuma devresinde katot telleri arasına yerleştirilen gecikmeler ile her telden gelen sinyaller arasına sabit süreler konulur, böylelikle her teldeki sinyali ayrı ayrı hatlarda okumak yerine sadece iki uçtan sinyal okunarak parçacığın konum bilgisi elde edilir. Söz konusu iki algıcın çalışma ilkeleri Şekil 1'de çizimle gösterilmiştir. Veri alınan kanal sayısının az olması okuma için gerekli elektronik devreyi de sadeleştirmiştir. Ayrıca, iç elektroniği uygun



Şekil 1. OÇTO (üst) ve GeTO (alt) çalışma ilkeleri [3].

şekilde tasarlandığında, GeTO tetikleme için herhangi bir başka algıca (parıldak gibi) ihtiyaç olmaksızın kendi anot telleri üzerinden de tetikleme yapabilmektedir.

Tasarımdaki bu sadelikler hızlı endüstriyel üretime olanak vermektedir. Dolayısıyla GeTO'lar geliştirilmesinden sonra kısa zamanda yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Özellikle CERN veya Fermilab gibi uluslararası araştırma merkezlerinde bu şekilde tasarlanmış GeTO'lar üretilmekte ve başarı ile çalıştırılmaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

GeTOnun tasarımı, benzetimi ve üretimi, dört ana kısımda gerçekleştirildi. İlk olarak dünyadaki çeşitli tasarımlar incelendi ve tasarımda kullanılacak benzetimler gerçekleştirildi. İkinci aşamada kullanıcı ihtiyaçları belirlenip, buna göre tasarım parametrelerinin seçildi. Üçüncü aşamada elimizdeki tasarıma uygun bir şekilde üretim yapıldı. Son aşamada ise ürettiğimiz GeTOnun testleri gerçekleştirildi.

3.1 Kuramsal Çalışmalar

Projenin ilk adımı tasarım için gerekli kuramsal hazırlıklardır. Daha önce dünyada kullanılan benzer gazlı algıçların tasarım ve üretim yöntemleri incelendi, bu projede üretilecek olan 10cm×10cm etkin alana sahip GeTO için hem sinyalin elde edilmesi hem de güçlendirilerek elektronik birimlere iletilmesi konularında benzetim çalışmaları yapıldı.

3.1.1 GeTO Tasarımlarının İncelenmesi ve Bilgisayarda Benzetimler

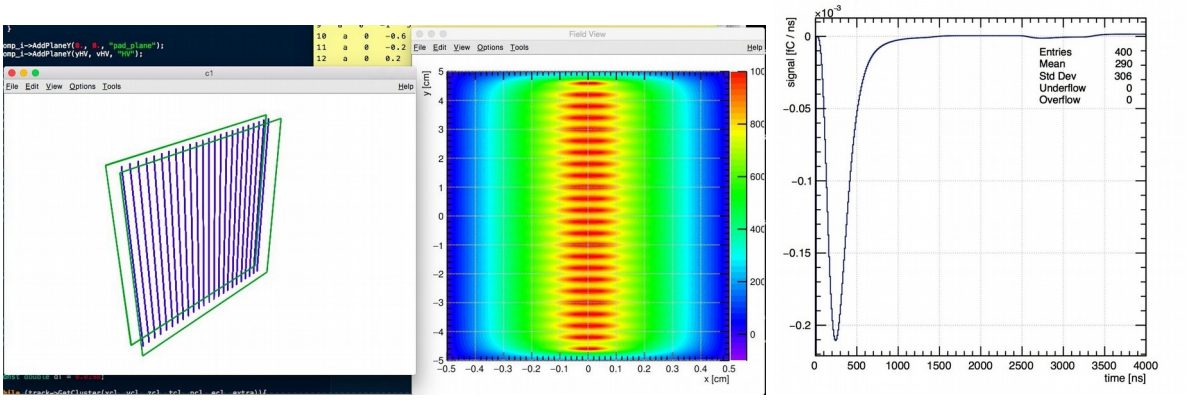
Literatür özetinde belirtildiği üzere gazlı parçacık algıçlarının ana prensibi yüklü parçacıkların hareket ederken etraflarındaki gazı iyonlaştırmalarıdır. İyonlaşan gazdan serbest kalan elektronlar elektrik alanda çığ etkisi ile anot tellerine doğru sürüklenir. Aynı anda topraklanmış olan katot tellerinde de ayna yükü oluşur. Katot tellerinin okuma uçları arasına konulan gecikme ile sadece iki uçtan veri alarak bir düzlemde ölçüm yapmaya olanak sağlar. Orantısal Çok Telli Oda tasarımında her bir tel için bir veri okuma sistemine ihtiyacımız varken, GeTO'da katot telleri arasına konulan geciktirmeler ile sadece iki uçtan veri alınarak, bir düzlemde konum okumak mümkündür.

Bu ana hatlar üzerinde çok telli gaz odasının icat edildiği 60'lı yıllardan günümüze kadar özellikle GeTO algıçlarının üzerinde duran bir çok inceleme ve yenilik makaleleri tarandı,

CERN’den uzmanlarla görüşmeler yapıldı. Hem projemize gelen istekler doğrultusunda hem de daha sonra sınırlarda güvenlik uygulamaları amacıyla, projede önerisinde inşa etmeyi öngördüğümüz GeTO’dan daha geniş bir ürün yelpazesi oluşturabilmek için teknik sınırların belirlenmesi için çalışıldı. Bu çalışmaların sonucu olarak, projemizde üretilecek olan algıçtan çok daha büyük (250×510 cm^2) etkin alanı olan algıçların üretilip kullanılabilmesinin mümkün olacağı anlaşıldı. Daha büyük algıç yapabilmenin önündeki engeller, tellerin üzerlerindeki elektrik kuvvet yüzünden bükülmeleri ve ek olarak gergin tellerin FR4 kasnağı bükmesi olarak değerlendirildi. Bu durumların mukavemet hesapları gerçekleştirildi ve değişik özelliklerdeki yapılar için GeTO’nun inşa edilebilmesini kontrol eden bir yazılım geliştirildi. Bu yazılımın bir ekran çıktısı Şekil 2’de görülebilir.

Mukavemet hesaplarının yanı sıra gaz algıçlarının benzetimi için kullanılan Garfield [5] programının yenilenmiş ve C++ uyumlu sürümü olan Garfield++ kütüphanesi ile de gerekli çalışmalar yapıldı. Bu çalışmalarda anot ve katot tellerinin sayıları, kalınlıkları ve aralarındaki mesafe ve aralarındaki potansiyel farkı, kullanılan gaz ve özellikleri gibi kullanıcı tarafından belirlenen özelliklere göre algıcı gösteren ve benzetim yapabilen bir yazılım geliştirildi. Bu yazılımdan bazı ekran çıktıları Şekil 3’de görülebilir.

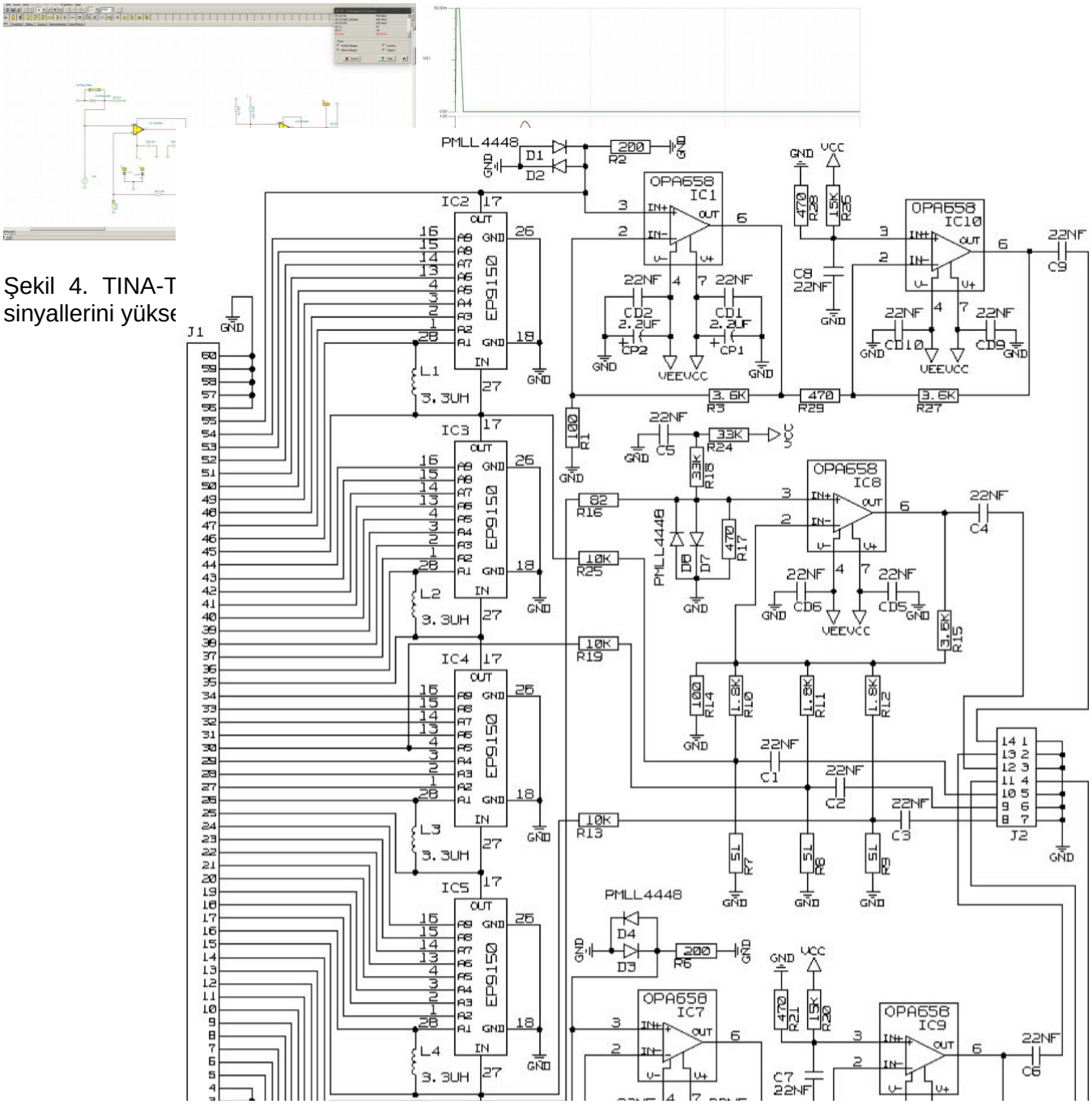
Böylelikle kullanıcıların ihtiyaçlarına göre basit girdiler kullanılarak bir GeTO tasarımı yapılabilir düzeye ulaşılmıştır.



Şekil 3. Garfield++ kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilen GeTO benzetiminden bazı sonuçlar. Sol: GeTO geometrisi (mavi çizgiler: iyonizasyon elektronlarını toplayan anot telleri; yeşil kareler: katot tellerinin düzlemleri). Orta: Anot telleri civarındaki elektrik alan şiddeti. Sağ: Geçen bir elektronun anotta bırakacağı sinyalin şiddetinin zamana göre değişimi.

3.1.2 Elektronik Okuma Yönteminin İncelenmesi

GeTO sinyallerini okumak için, literatür taraması sırasında elde edilen ve CERN'deki benzer algıçlarda kullanılan bir elektronik devre şeması tercih edildi (Şekil 5). Ancak bu devrenin çeşitli kritik devre elemanları (yüksek bant aralığı olan opamplar ve pasif gecikme yongaları) artık üretimden kaldırılmış olduğundan, bunlara denk başka ürünler araştırılmış ve bu denk ürünlerle devrenin cevabının kontrol edilebilmesi amacıyla benzetimler gerçekleştirildi. Benzetimlerde devrede kullanılacak diyot ve opamp çeşitlerinin SPICE temelli TINATI kütüphanesinde mevcut bulunması sebebiyle ana benzetim programı olarak TINA-TI kullanıldı. Gereken pasif gecikme yongası ise önce kullanıcı arayüzü daha pratik bulunan LTSpice programında çizilip sonra TINATI'ye aktarıldı. Devrenin ilk benzetimleri, ana fonksiyonları koruyacak şekilde üç altdevreye ayrılarak tamamlandıktan sonra, devrenin tamamı çizilip sonuçları karşılaştırıldı (Şekil 4). Birbirleriyle tutarlılıkları görüldükten sonra devrenin belirli yerlerinden sinyal verilerek çıktılar incelendi. Teknik özellikleri uygun olan bir



Şekil 4. TINA-T
sinyallerini yükse

MTDC32 (32 bit, 5ps) zaman sayısallaştırıcı TDC kartı temin edildi.

3.2 GeTO Tasarlanması

İlk yerli GeTO algıcının tasarlanabilmesi için önce kullanıcı beklentileri belirlenmiş ve daha sonra da bu beklentilere uygun bir tasarım bilgisayar yardımı ile yapılmıştır.

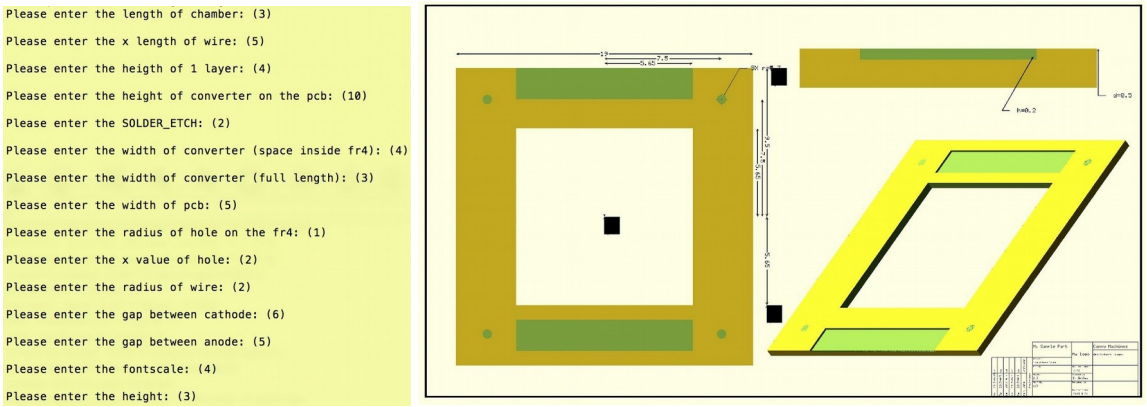
3.2.1 Kullanıcı Beklentilerinin Belirlenmesi

Kullanıcı beklentilerini belirlemek için yurt içinde ve dışında hızlandırıcı ve parçacık fiziği konularında çalışan ve böylesi bir algıca ihtiyaç duyacağı düşünülen kişilere bir anket yollandı. Bu ankette yüklü parçacıkların izlerini ve yoğunluklarını belirlerken gereken etkin alan, çözünürlük, parçacık akısı, var olan elektronik ve gaz sistemi alt yapısı ile ilgili sorular yöneltildi. Buna göre bazı olası kullanıcıların daha büyük algıçlarla (30cm x 30cm etkin alan) ilgilendikleri, bazı kullanıcıların ise yapılmakta olan algıç ile yetinebilecekleri ancak parçacık akısı değerlerine gerek duydukları ortaya çıktı.

Anketin bir örneği şu adreste bulunabilir: https://tr.surveymonkey.com/r/TJZBSZL

3.2.2 Kullanıcı Beklentilerine Cevap Verecek Tasarımların Yapılması

Daha önce prototip için hazırlanan çizim yazılımı geliştirildi ve bu yazılım kullanıcıdan tasarım parametrelerini alan ve bu parametrelere göre mühendislik çizimlerini OpenSCAD çizim yazılım dili kullanarak otomatik yapan bir hale getirildi (Şekil 6).



Şekil 6. OpenSCAD ile hazırlanmış GeTO tasarım yazılımından ekran görüntüleri. Sol: Girdi ekranı. Sağ: Mühendislik çizimleri.

3.3 GeTO Üretimi

Yapılan tasarım çalışmalarının ardından Boğaziçi Üniversitesi fizik bölümünün olanakları kullanılarak ilk algıç üretimine geçildi.

3.3.1 Tasarlanan FR4 Algıç İskeletinin ve Algıç Kutusunun Üretilmesi

Yapılan çizimler doğrultusunda hızar ve freze kullanılarak FR4 maddesinden 6 adet plaka iskeleti oluşturuldu. Oluşturulan iskeletlere, satın alınan dönüştürücü ve PCBler kesilip epoksi ile yapıştırıldı ve bu şekilde plakalar tel germeye hazır hala getirildi (Şekil 7 sol).

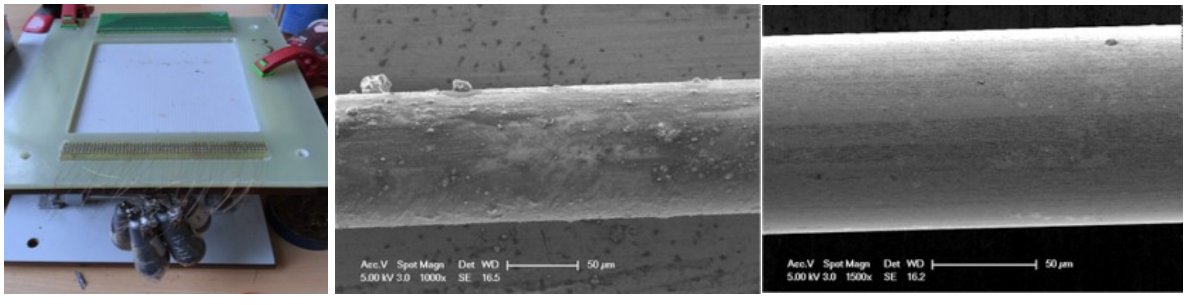
Ürünün kutusu için ise projenin farklı aşamalarında iki ayrı materyal kullanıldı. Elektrik ve gaz testlerinin gerektiğince tekrarlanabilmesi ve kutunun maruz kalacağı dış şartlara göre yüksek gerilim, sinyal ve gaz giriş çıkışlarının farklı konfigürasyonlarda denenmesini kolaylaştırabilmek üzere, ilk adım olarak plastik kutularla çalışıldı. Bu çalışmalar sırasında sistemin gaz kaçırmayacak şekilde yalıtılması ve kutuya açılan giriş çıkış deliklerinin kutunun yapısal bütünlüğüne verebildiği zararlar konusunda tecrübe kazanıldı. Ürünün son hali için ise aluminyum tercih edildi. Kutularda parçacıkların kolay geçebilmesi için pencereler açıldı, bu pencereler kutuya epoksi ile yapıştırılmış kapton ile kaplandı. Kutuların gaz kaçırmaması için vidaları, elektrik ve gaz giriş çıkışları ve kapak o-halkalar ile kapatıldı ve kaçak testleri yapıldı (Şekil 7 sağ).



Şekil 7. Mekanik üretim aşamaları. Sol: Tellerin gerileceği plaka iskeletlerine dönüştürücülerin yapıştırılması. Sağ: Tamamlanmış alüminyum kutunun gaz kaçağı testleri.

3.3.2 Anot ve Katot Tellerinin Gerilmesi

0.1 mm, 0.05 mm ve 0.025 mm'lik bakır berilyum teller için yapılan germe denemeleri sonucunda 0.025 mm'lik telin fazla kırılgan olduğu için kullanılamayacağı fark edildi. Katot katmanları olarak ilk üründe kullanılacak teller 0.1 mm'lik bakır berilyum malzeme ve 100 g



ağırlık ile gerildi. Anot katmanlar için ise en uygun telin 0.02 mm'lik altın tungsten tel olduğu anlaşıldı ve anot telleri 20 g ağırlık kullanılarak gerildi. Tel aralıkları katot tellerinde 2 mm anot tellerinde ise 4 mm olarak seçildi. 4 katot ve 2 anot olmak üzere toplam 6 katman gerildi. Üzerinde teller bulunan katmanlar 170°C sıcaklıkta bir kaç saat fırınlandıktan sonra isopropil alkol içinde ultrasonik banyo ile yıkandı ve çalışmaya hazır hale getirildi. Şekil 8'de ultrasonik yıkama öncesi ve sonrası katot tellerinin ESEM görüntüleri görülebilir.

3.3.3 Okuma Elektroniğinin Üretilmesi ve Testleri

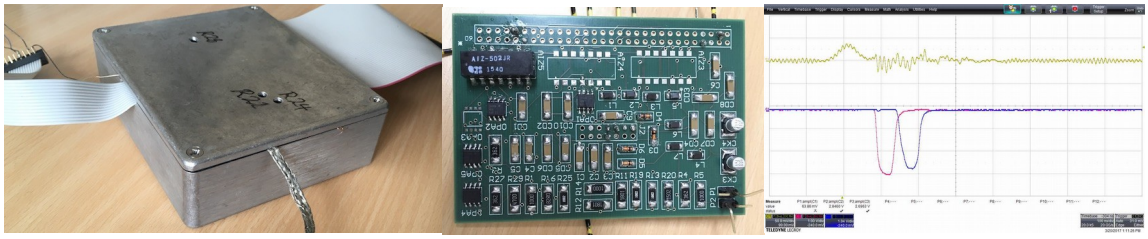
Hizmet alımı şeklinde yaptırılması öngörülmüş olan okuma elektroniği devreler, hizmeti verecek şirketin uzman eleman kadrosundaki bazı sorunlar sebebiyle taahhütünü arzulanan çalışma takvimi içerisinde yerine getiremeyeceğini belirtmesi üzerine ekibimiz tarafından üstlenildi.

Bu bağlamda öncelikle kritik devre elemanlarından olan geciktirme elemanları temin edilip testleri yapıldı. Sonra benzetimi yapılan geciktirici ve yükseltici devre bir deneme tahtasına (breadboard) kuruldu ve sinyaller osiloskop üzerinden takip edildi. Devrenin evirici ve evirmeyen yükseltme kısımları teker teker kuramsal hesaplara yakın sonuçlar vermekle birlikte, bu iki yükseltme alt devresi birbirinin ardına eklendiğinde yansıma ve istikrar sorunları olduğu gözlemlendi. Devrenin çok ufak ve yüksek frekanslı sinyalleri yükseltebilecek şekilde tasarlanmış olması sebebiyle çevreden elektromanyetik gürültüye de kolaylıkla maruz kaldığı, bu etkileri en aza indirmek için deneme tahtası yerine karta (PCB) yazılmasının daha uygun olacağına karar verildi. Elle çizilip üretilmiş bir PCB'den de tam istenilen sonuçlar elde edilemeyince TOBB ETÜ Elektronik Mühendisliği bölümünden Dr. Ali Bozbey'in grubunun desteğiyle, Altium yazılımı ile devre kartı tasarımı gerçekleştirildi. Öncelikle 6 katlı bir tasarım yapıldı, sonra daha ekonomik olması için 4 katlı ve yüzey bağlantılı bileşenler (SMD) kullanılarak ikinci bir tasarımda karar kılındı.

Bu göreli karmaşık PCBlerin üretimine geçilmeden önce, kart üretimi konusunda ekonomik ancak iyi kaliteli üretim yapabilecek bir şirket arandı. Daha önce çeşitli astrofizik deneylerinin kartlarını üretmiş bir şirket (HiTechCorp) ile anlaşma yapıldı. Şirketin ürün kalitesini sınamak amacıyla ilk adım olarak 2mm aralıklı katot tellerden gelen sinyallerin 2.54mm aralıklı ve çift sıralı konnektör üzerinden okunmasını sağlayan dönüştürücülerden bir parti sipariş verildi. ORCAD yazılımı ile çizilen tasarımlarından elde edilen GERBER kütükleri HiTechCorp tarafından istenilen kalitede üretilince, okuma elektroniğinin kartlarının üretimine geçildi.

Okuma kartlarının üretimi ancak iki turda tamamlanabildi. İlk turda üretilen kartların yüzey tasarımda sorunlar olduğu farkedildi. Bu sebeple bu kartlar sadece yükseltici ile ilgili devre elemanlarının testinde kullanıldı. İkinci turda ilk turdaki sorunlar giderildi. Bu turda üretilen iki karta gene önce yükseltici ile ilgili SMD parçaları ekibimiz tarafından lehimlendi. Devrenin çalışmasının hâlâ kararsızlık gösterdiği gözlemlendi. CERN'deki uzmanlara danışıldıktan sonra, devrenin aşırı hassaslığı sebebiyle bir çok noktasından topraklanması gerektiği, ayrıca kendine özgü bir Faraday zırhına ihtiyaç duyduğu öğrenildi. Devrenin bir çok noktasına ek toprak hatları çekildi ve denemelerde kullanılmak üzere bir metal zırh kutusu hazırlandı.

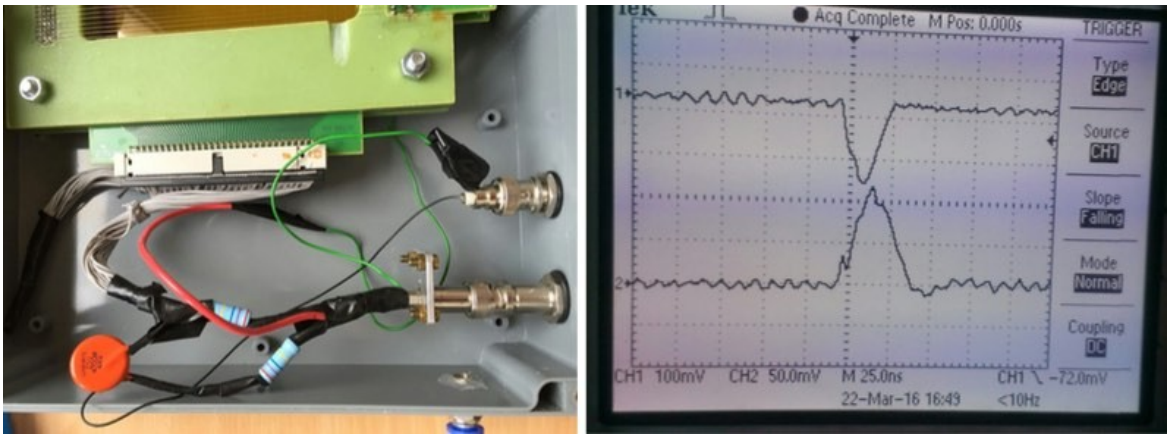
Bütün bu önlemlere rağmen devrenin kolaylıkla kararlılığını kaybetmeye devam etmesi üzerine, kullanılan yüksek bant aralığına sahip OPA694 opamplar ile ilgili karakterizasyon çalışması gerçekleştirildi. Bu çalışma sonucunda opampların teknik özelliklerinin CERN'de kullanılan opamplara kıyasla daha iyi görünmelerine ve benzetimlerde düzgün sonuçlar vermelerine rağmen gerçek laboratuvar ortamında kararsız olacakları sonucuna varıldı. Çözüm olarak, devrenin besleme gerilimi ±5V seviyesinden ±3V'a indirildi. Ayrıca devrenin evirici yükseltici kısımlarına gerilimi bölerek sağlayan direnç grupları (Şekil 5'deki R20-R21 grubu ve R26-R28 grubu) birer potansiyometre ile değiştirilerek yükselticinin referans gerilimleri ayarlanabilir hale getirildi. Tüm bu ayarlamaların sonucunda, gecikme elemanlarının da eklenmesinin ardından, devrelerin kalibrasyon sinyallerini beklenen miktarda geciktirip, yükseltip çıktı verdikleri gözlemlendi (Şekil 9).



Şekil 9. Okuma elektroniği ile ilgili çalışmalar. Sol: Devrenin testleri için hazırlanmış zırh kutusu ve kutudan dışarıya çıkan toprak ve veri kabloları. Orta: Yükseltici kısımlarının testleri sırasında, devrenin geciktirme elemanlarından sadece biri lehimlenmiş hali. Sağ: Devrenin tamamı kurulup, potansiyometrelerle ayarlar yapıldıktan sonra 50mV'dan ufak bir kalibrasyon sinyaline (sarı) yaklaşık 2.5V'a yükselterek ve tel pozisyonuna göre geciktirerek verdiği çıktılar (kırmızı ve mavi).

3.3.4 Gaz ve Yüksek Gerilim Bağlantılarının Eklenmesi ve İlk Denemeler

Elektronik devrenin ve son ürün için kullanılacak alüminyum kutunun hazırlanması devam ederken, hazırlanmış GeTO katmanlarının yüksek gerilim altında ilk denemeleri plastik kutular ve basit bir test devresi (bir kapasitör ve iki direnç) ile yapıldı. Gaz kaçak testleri ilk olarak daha ucuz ve kolayca elde edilebilir N_2 gazı ile tamamlandıktan sonra, kutu Ar-CO_2 karışımı ile doldurulduu. Herhangi bir atlama veya kıvılcım olmadan 3kV'a kadar yüksek gerilim testler başarıyla tamamlandı. Osiloskopta anot tellerinden alınan sinyallerin görüntü (image) akımları katot tellerinden gözlemlendi (Şekil 10).

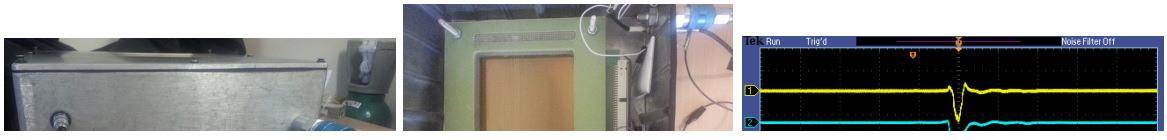


Şekil 10. Okuma elektroniği olmadan yapılan testler. Sol: Basit test devresi. Sağ: Kutu kapatılıp gaz verildikten sonra yüksek gerilim uygulandığında test devresinden görülen sinyaller (üstte anot, altta katot).

3.3.5 Sinyal Geciktirme ve Güçlendirme Elektroniğinin Eklenmesi

Okuma elektroniği kartının ortasında yer alan (Şekil 5'deki J2 ile gösterilen) devre giriş çıkışlarının olduğu bağlantı noktasına bir düz kablo aracılığıyla bir priz yapıldı. Bu prize bağlanabilecek bir fiş hazırlanıp, fişin uçları GeTO kutusunda açılmış olan dişi lemo girişlerinin kutu içinde kalan kısımlarına lehimlendi. Bu şekilde okuma elektroniğinin kutu içinde kalması, kutu açıldığında kolaylıkla sökülüp takılabilmesi için bir düzenek oluşturulmuş oldu. GeTOnun anot katmanlarındaki tüm tellere yüksek gerilimi uygulayabilmek için basit bir konnektör geliştirildi ve bu konektör de gene kutuda açılan bir yüksek gerilim girişine bağlandı. Son olarak GeTO'nun her bir ölçüm yönü için altta ve üstte yer alan katot katmanlarında aynı hizaya gelen katot tellerini birbirine bağlayacak, bu bağlanmış tellerdeki sinyali de okuma elektroniğine taşıyacak olan kısa bir "Y"-bağlantı kablosu hazırlandı.

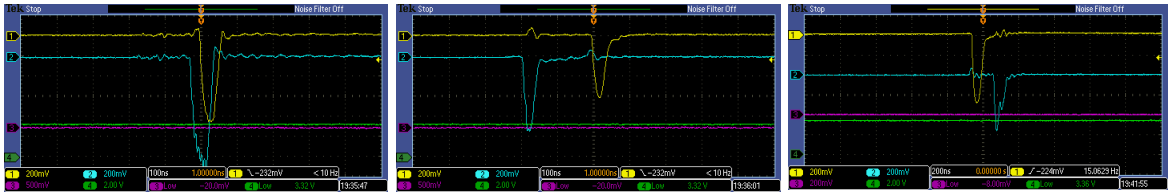
Bu şekilde hazırlanmış düzenek kutuya yerleştirildi. Kutu kapatılmadan önce devrenin üzerindeki potansiyometreler ile devrenin kararlı çalışması için ayarlamalar tekrarlandı. Kutu kapatılıp gaz ve yüksek gerilim verildikten sonra dışarıdan deneme için kalibrasyon sinyalleri



gönderildi. Okuma devresinin kalibrasyon sinyallerinin uygulandığı telin yerine uygun bir şekilde beklenen çıktı sinyallerini sorunsuz verdiği gözlemlendi (Şekil 11).

3.3.6 İlk Sinyallerin Alınması

Kutu kapatılıp kozmik ışınlar ile ilk sinyallerin görülebilmesi için testler yapıldı. Sistemde yaklaşık 1 saat kadar Ar-CO2 gaz akışı tamamlandıktan sonra, devreden herhangi bir çıktı olup olmadığı 150mV eşik tetiklemeye ayarlanmış şekilde osiloskopta gözlemlendi. Gaz yükseltmesi faktörünün makul seviyeye ulaşacağı beklenen yaklaşık anot gerilimi olan 2.5kV'a ulaşıncaya kadar herhangi bir çıktı görülmedi. Bu gerilimden daha yukarı çıkıldığında ender olarak görülen çıktılar 3.2kV civarında 0.2Hz civarına yükseldi. 3.5kV civarına ulaşıldığında ise birkaç Hz olduğu ölçüldü. Bazı örnek osiloskop ekran görüntüleri Şekil 12'de görülebilir. Çıktıların şekil olarak kalibrasyon sinyalinin çıktısına benzer olması, ancak yüksekliklerinin değişkenliği, ve bazen bir çıktının, bazen diğerinin önce gerçekleşmesi ve aralarında geçen zamanın düzenli olarak farklılaşması (ancak hep 250ns'nin altında kalması), parçacıkların değişik açı ve pozisyonlarda algıcın içinden geçmesine uygun bulgular olarak değerlendirildi.



Şekil 12. GeTO'ya 3.3kV civarında anot gerilimi verildiğinde alınan bazı örnek osiloskop görüntüleri. Mavi ve sarı: Devrenin çıktıları. Yeşil: Uygulanan yüksek gerilim (x1000). Her bir kutu 100ns.

3.3.7 Veri Toplama ve Tetikleme Sisteminin Kurulması

Veri toplama ve tetikleme sistemi için LeCroy 8901A CAMAC GPIB arayüz modülü ile okuma alınması hedeflendi. Temin ettiğimiz bir GPIB-USB dönüştürücü için Linux sürücü bulunup, okumalar için C dili ile program yazıldı. Öncelikle gelen sinyallerin büyüklüğünü takip edebilmek için LeCroy 2249A analog-sayısal dönüştürücüden (ADC) okumalar yapıp kalibrasyonu yapıldı. Daha sonra GeTO'dan gelecek sinyaller açısından asıl kritik olan zaman ölçümü için bir program geliştirildi.

Zaman kalibrasyonu için sinyal üretecinden 100Hz'lik bir sinyal alınıp bir NIM sabit kesir diskriminatöründen (CFD) geçirildi. CFD'nin bir çıktısı LeCroy 2228A zaman-sayısal

dönüştücünün (TDC) ortak başlangıç (com start) girdisine, bir çıktısı da bir NIM CAEN N93B çift sayaç (dual timer) modülü ile geciktirilip TDC'nin durdurma girdisine verildi. Sinyaller ayrıca NIM fan-in-fan-out modülleriyle kopyalanıp osiloskoptan da ölçülebildi. C ile geliştirilmiş programdan veriler okunup kalibrasyon tamamlandı (Şekil 13).

3.4 Demet Hattında Ölçüm Alınması

Proje önerisinde ürettiğimiz GeTO'nun laboratuvarımız dışındaki bir uygulamada denenmesi için TAEK – Sarayköy nükleer araştırma ve eğitim merkezinde çalışmakta olan (SANAEM) proton hızlandırıcı merkezinin (PHT) 30 MeV'lik Ar-Ge demet hattı düşünülmüştü. Ancak ülkemizde gerçekleşen olağandışı durumlar sebebiyle bu hatta çalışma yapabilmek için zamanlama yapmakta güçlükler ile karşılaşıldı. CERN'deki bir demet hattında denemeler yapabilmek için zaman talebimize ise CERN'den 2016 yazı için verilen tarih gene olağandışı gelişmelerin bir sonucu olarak akademisyenlerin yolculuk yapmasına getirilen kısıtlamalar sebebiyle mümkün olamadı. Maalesef ikinci alternatif olarak verilen Ağustos 2017 tarihi ise projenin kapanmasının sonrasına geldiği için CERN'de GeTO'nun testleri için alternatif bir deneme programı uygulandı.

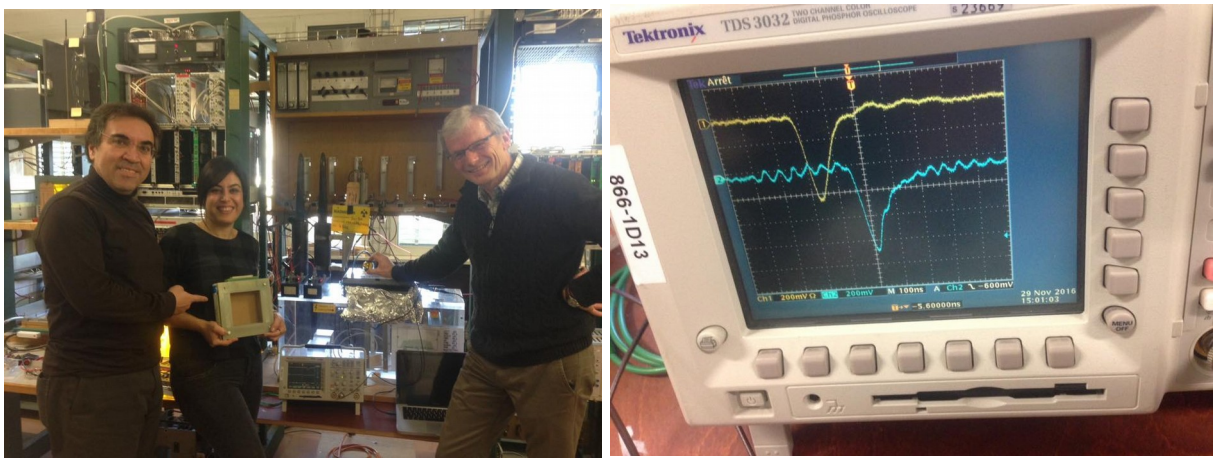
3.4.1 Algıcın Demet Hattı Üzerinde Kurulup Denenmesi

CERN'deki demet hatlarında aktif olarak kullanılan GeTO'ların testlerinin, kalibrasyonlarının ve ölçümlerinin gerçekleştirildiği, 200kBq aktiviteli Sr-90 radyoaktif kaynaklardan alınan 0.546MeV enerjili elektronların algıçlara yönlendirildiği CERN Gazlı Algıç Laboratuvarı'nın deneme hattında 4 günlük bir süre için izin alındı. CERN'e taşınması ekonomik olmayacağı için, gaz tüpleri ve gaz düzeneği, elektronik veri alım düzeneği ve alabildiğimiz süre içerisinde tamamlanmamış olduğu için elektronik okuma devresi CERN'den temin edildi. Ürettiğimiz GeTO test hattına yerleştirildi ve plastik sintilatörlerle tetiklenen bir sistem ile sinyal alındı.

3.4.2 Bilgisayarda Demet Profilinin Ölçülmesi

Profili ölçülecek bir parçacık demetine ulaşamamış olduğumuz için, daha önce demet profili ölçümlerinde kullanılmış ve pozisyon çözünürlüğü 100μm ölçeğinde olduğu belirlenmiş CERN'deki benzer büyüklükteki GeTO'larla ürettiğimiz GeTO'nun performansının karşılaştırmasına karar verildi. CERN Demet Enstrümantasyon Grubu'ndan Dr. Jens Spanggaard'ın da katkılarıyla Gazlı Algıç Laboratuvarı'nda aynı şartlar altında denemeler

gerçekleştirildi (Şekil 14). Ürettiğimiz GeTO'dan alınan sinyallerin CERN'deki denklerine göre yaklaşık 2 kat daha büyük oldukları gözlemlendi. Bu sayede zaman ölçümlerinin daha keskin yapılması ve dolayısıyla en az CERN'deki GeTO'ların pozisyon çözünürlüğüne ulaşılacağı öngörülebilir.



Şekil 14. CERN Demet Enstrümantasyon Grubu Gazlı Algıç Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen ölçümler. Sol: Test düzeneği (gazlı algıçların yerleştirildiği pleksicam test odası ve verim alım elektronikleri) ve deneme ekibi (yurtdışı araştırmacı, Dr. Gökhan Ünel, Boğaziçi Üniversitesi doktora sonrası araştırmacısı, Dr. Aytül Adıgüzel, CERN demet enstrümantasyon grubundan uzman, Dr. Jens Spanggaard). Sağ: Üretmiş olduğumuz GeTO'dan gelen sinyallerle okuma devresinin verdiği çıktılar. İki atmanın arasındaki yaklaşık 200ns zaman farkından geçen parçacığın GeTO'nun oldukça uç tellerinin yakınından geçtiği okunabilir.

4. BULGULAR

Tasarlayıp, benzetimini yapıp ürettiğimiz ilk gaz algıç prototipi ana hatlarıyla başarıya ulaştı.

1. Ülkemizde gerçekleşen olağanüstü gelişmeler sebebiyle projenin ikinci dönem bütçesinin, projeye 6 ay ek süre verilmiş olmasına rağmen, projenin uzatılmış kapanma süresinin son bir buçuk ayına kadar üniversitemize aktarılamadı, yurtdışı yolculuklarda da gecikmeler yaşandı. Bu sebeplerden ötürü profili çıkartılacak bir demet için zaman ayarlanamadığından demet ölçümleri gerçekleştirilemedi. Bunlara rağmen alternatif bir çalışma ile CERN'de yapılan testlerde GeTO katmanlarımızın yurtdışındaki benzer ürünlere göre daha iyi sinyaller verdiği görüldü.

2. CERN’de de kullanılan devre tasarımında yükseltme faktörünün kuramsal hesaplardan düşük kalmasına sebep olan, ayrıca devrenin en ufak dış etkenlerle kararsız çıktılar vermesine sebep olan bazı özellikler keşfedildi. Bu sebeple okuma devresi için zırhlama, besleme gerilimini düşürme ve opampların denge gerilimlerini hassas şekilde ayarlama gibi çözümler geliştirildi. Bu çözümler ile CERN’deki devrelerden birkaç kat daha fazla yükseltme faktörüne ulaşıldı.

5. SONUÇ

Tasarımından benzetimine, mekanik kutu üretiminden, elektronik okuma devresinin hazırlanmasına, aktif algıç katmanlarının üretilip birleştirilmesine tüm adımlarıyla bir gazlı parçacık algıcı ülkemizde gerçekleştirilmiştir. Tamamlanmış olan ürün kadar bu sırada kazanılan teknik birikim de gazlı parçacık algıcı teknolojisinde daha iddialı projeler gerçekleştirmenin yolunu açmıştır.

Projede çalışan iki yüksek lisans öğrencisinden birisi tezini Haziran 2017’de başarıyla savunmuş, diğeri ise tezinde büyük yol kat etmiştir. Doktora öğrencimizin gazlı algıçlarla ilgili kapsamlı tezinin bir kısmı da projede bulunan bulgularla ilgili olacaktır. Bu raporda detaylarına girilmeyen, ancak ürünün kalitesini yükseltmeye dönük bazı çalışmalarımız da olmuştur. Bunlardan biri, gazın kutu içindeki konsantrasyonunu takip etmeye yönelik oldukça basit bir eklemedir: ilk inşa edilen plastik kutunun içerisine gömdüğümüz nem ölçer ile gazın akışı hakkında bilgi sahibi olabildik. Bu basit çözümü son metal kutumuzda yer kısıtı sebebiyle uygulayamadık. Ürünün bir sonraki halinde hazır kutu tedarik etmek yerine, kutunun da tasarımını yapmayı ve bu sistemi de dahil etmeyi öngörüyoruz.

Ürünün kalitesini arttıracak ikinci çalışmamız ise okuma devresi ile ilgili olmuştur. Devrenin üretimi ve çalıştırılması beklentilerimizden çok daha güç oldu. Ancak bu güçlükleri aşabilmek için gerçekleştirdiğimiz detaylı çalışmalar, devrenin kararsız ve dış etkenlere aşırı hassas davranışlarının sebepleri ile ilgili bize çok önemli ipuçları vermiştir. Proje süresinde tamamlanamamış olmakla birlikte, tamamen yenilenmiş bir okuma devresiyle ilgili epeyce yol kat edilmiştir. Bu devrenin 2017 yazı sonuna kadar tamamlanmış olmasını öngörüyoruz. Bu yeni devreden bir CERN teknik tasarım notu, devrenin tüm GeTOya entegre edilmesiyle birlikte de uluslararası saygın bir dergide bir makale çıkmasını öngörüyoruz.

KAYNAKLAR

[1] Sauli F. 1977. “Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers”, Lectures given in academic program of CERN, CERN 77-09.
http://lhcb-muon.web.cern.ch/lhcb-muon/documents/Sauli_77-09.pdf
Son Erişim Tarihi: 27.08.2014

[2] Charpak G., Sauli F. 1979. “Multiwire Proportional Chamber and Drift Chambers”, Nuclear Instruments and Methods, 162, 405-428,CERN, Geneva, Switzerland.

[3] Spanggaard J. 1998. “Delay Wire Chamber: A User’s Guide.” , CERN-SL Division SL-Note-98-023, CERN.
http://cds.cern.ch/record/702443/files/sl-note-98-023.pdf
Son Erişim Tarihi: 27.08.2014

[4] Gürbüz S., Ünel G., Erhan S. 2014. “A Wire Chamber for Educational Purposes”, arXiv: 1409.0523.

[5] Veenhof R. 1993. “Garfield: a Drift Chamber Simulation Program, User’s Guide”.
http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kobayash/seminar/files/cern/garfield.pdf
Son Erişim Tarihi: 27.08.2014
Ayrıca Garfield++ programı için: https://garfieldpp.web.cern.ch/garfieldpp/
Son Erişim Tarihi: 23.06.2017

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. VEYSİ ERKCAN ÖZCAN
Proje No:	114F467
Proje Başlığı:	Gecikmeli Tel Odası Tasarımı, Benzetimi Ve Üretimi
Proje Türü:	1005 - Yeni Fikirler ve Ürünler
Proje Süresi:	18
Araştırmacılar:	NAFİZ GÖKHAN ÜNEL (Yurt Dışı)
Danışmanlar:	UMUT KÖSE (Yurt Dışı)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	BOĞAZİÇİ Ü. FEN-EDEBİYAT F. FİZİK B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/05/2015 - 01/05/2017
Onaylanan Bütçe:	314000.0
Harcanan Bütçe:	272458.83
Öz:	Yüklü parçacıkların izlerini takip ederek başka yöntemlerle elde edilemeyecek kadar duyarlı görüntü elde edilmesi, savunma sanayinden, tıp alanına, temel bilimsel araştırmalardan sınır güvenliği sağlamaya veya jeolojik radyasyon ölçümleriyle deprem öngörüsü yapmaya kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Özellikle 1960lı yılların sonundan itibaren geliştirilen gazlı algıçlar (detektörler) uzun ömürlü olmaları ve bakım kolaylığı bakımından tercih edilir olmuşlardır. Bunlardan birisi olan Gecikmeli Tel Odası (GeTO), 1992 yılında Charpak?a Fizik Nobel ödülünü getiren ?Çok Telli Oranlı Oda? algıcının basitleştirilmiş bir halidir. İcat edildiği yıldan bu yana kullanım kolaylığı ve konum duyarlılığı açısından özellikle yüklü parçacık demetlerinin profil ölçümlerinin ve modern parçacık fiziği deneylerinin vazgeçilmez bir parçası olarak kendini ispatlamıştır. Ekonomik ve dayanıklı olması ölçüm yapılacak hacim büyüdükçe yarıiletken alternatiflerinin önüne geçmesini sağlamaktadır. Bu projede demet hatlarında veya kozmik ışınların gözlenmesinde kullanılmak üzere bir GeTO tasarlanmış, kullanıcı ihtiyaçlarına göre tasarımı yenilemeye fırsat tanıyacak bir yazılımın geliştirilmiş, tasarlanan algıcın benzetimleri yapılmış ve Boğaziçi Üniversitesi?ndeki Yüksek Enerji Enstrümantasyon Laboratuvarı?nda üretilmiştir. Algıcın çeşitli kısımları Avrupa Nükleer Araştırmalar Organizasyonu?nda (CERN) da test edilmiş ve yurtdışındaki benzer algıçlarla rekabet edebilir nitelikte olduğu görülmüştür. Böylelikle ülkemizde ilk kez bir gazlı parçacık algıcı üretelmiş ve aynı teknoloji şemsiyesi altındaki başka ürünlerin geliştirilebilmesi için de ilk adım atılmıştır.
Anahtar Kelimeler:	Tel Odası, Gazlı Parçacık Algıcı, GeTO
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Boğaziçi GETO (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum), 2- Design, Simulation And Construction Of A Wire Chamber Electronics (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),

TÜBİTAK