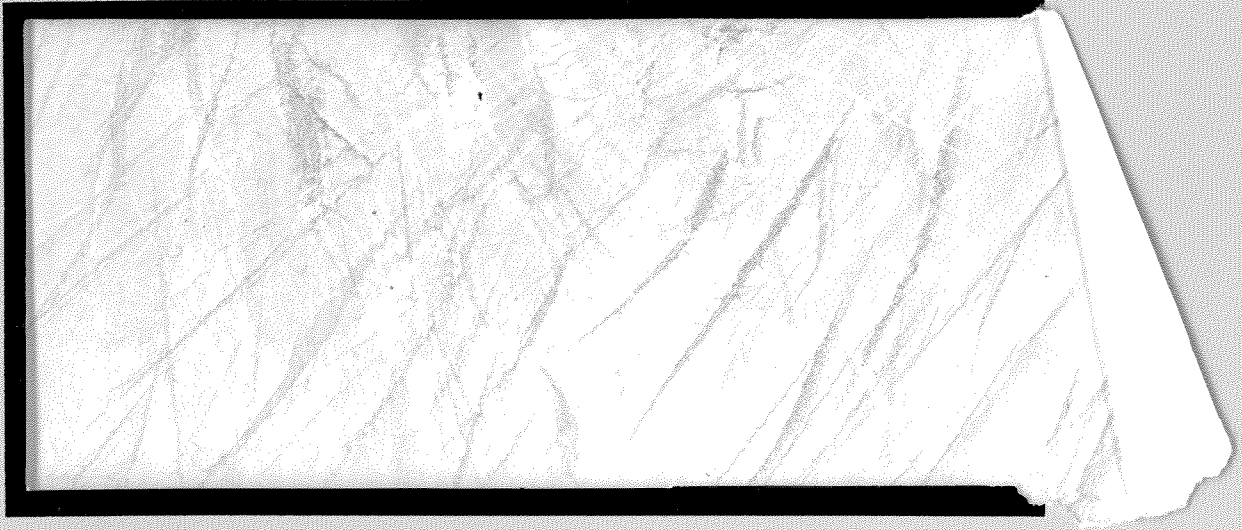


2000-139



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY



Temel Bilimler Araştırma Grubu  
Basic Sciences Research Grant Committee

**CERN CMS DENEYİ İÇİN EN İLERİ KALORİMETRE  
(VERY FORWARD CALORİMETER)**

**PROJE NO: TBAG-1591 (197T018)**

**Doç. Dr. Mehmet T Zeyrek  
Prof. Dr. Perihan Tolun  
Prof. Dr. Ramazan Sever  
Doç. Dr. Meltem Serin-Zeyrek  
Dr. Erhan Pesen  
Ahmet Sedat Ayan  
Uğur Akgün  
Murat Güler**

**OCAK 2000  
ANKARA**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma CERN-LHC deneylerinden CMS deneyinde ileriye doğru saçılacak yüksek enerjili parçacıkların enerji ölçümlerinde kullanılacak ‘forward calorimetre’ (ileri kalorimetre)’de kullanılacak radyasyona dayanıklı kuartz fiber üretilmesi ve denenmesi çalışmalarını içeren bir araştırmadır. TÜBİTAK tarafından TBAG-1591 nolu proje ile desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Önsöz.....	ii
Şekiller listesi .....	iv
Tablolar listesi .....	v
Öz .....	vi
Abstract .....	vii
I. GİRİŞ .....	1
II. GELİŞME .....	6
2.1 HF detektörü malzemelerive yapım tekniği .....	6
2.2 Emici levhalar ve yüzeylere oyuk açılması ile ilgili çalışmalar .....	7
2.3 Kuartz fiber geliştirilmesi ve üretimi .....	9
2.3.1 Fiber optik .....	9
2.3.2 Cherenkov ışınması .....	13
2.3.3 HESFİBEL kuartz fiber üretimi .....	15
2.4 Prototipler .....	20
2.4.1 Radyasyon hasar prototipi .....	20
2.4.2 Ribbon kalorimetre prototipi .....	23
2.4.3 PPP (Pre Production Prototype) .....	25
2.5 Deneyler ve Sonuçlar .....	28
2.5.1 Radyasyon hasar prototipi deneyleri ve sonuçları.....	28
2.5.2 Ribbon kalorimetre prototipi deneyleri ve sonuçları .....	33
2.5.3 Tek fiber üzerinde yapılan radyasyon dayanıklılığı ölçümleri ..	36
2.5.4 Boyut ve kırılmaölçümleri .....	45
III. SONUÇ .....	46
IV. Kaynaklar .....	53

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. CMS detektörü .....	3
Şekil 2. CMS detektörü boyuna kesiti .....	4
Şekil 3. Optik fiber kesiti, step ve graded index fiber yapısı .....	10
Şekil 4. Fiber çekme kulesi (drawing tower) şeması .....	12
Şekil 5. Cherenkov ışınması .....	14
Şekil 6. Işığın fiber optik kabloda yayılması .....	14
Şekil 7. HESFİBEL kuartz fiber 'attenuation' ölçümleri .....	17
Şekil 8. Spektrometre .....	18
Şekil 9. Radyasyon hasar prototipi .....	22
Şekil 10. 'Ribbon' kalorimetre prototipi .....	24
Şekil 11. HF-PPP detektörü .....	27
Şekil 12. HESFİBEL ve Polymicro fiberlerinin radyasyon dayanıklılığı .....	31
Şekil 13. Polymicro ve INFOS fiberlerinin radyasyon dayanıklılığı .....	32
Şekil 14. Enerji hassasiyeti .....	35
Şekil 15. Radyasyon hasar ölçümleri için düzenek .....	38
Şekil 16. Radyasyon etkisi altında HESFİBEL kuartz fiber attenuation ölçümü .....	39
Şekil 17. Radyasyon etkisi altında Polymicro kuartz fiber attenuation ölçümü .....	40
Şekil 18. Radyasyon etkisi altında INFOS kuartz fiber attenuation ölçümü .....	41
Şekil 19. HESFİBEL, Polymicro, INFOS kuartz fiberlerin radyasyon dayanıklılığı ...	42
Şekil 20. HESFİBEL kuartz fiber yenilenme ölçümü .....	43
Şekil 21. Polymicro kuartz fiber yenilenme ölçümü .....	44

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Kuartz fiber üretim şartları .....	15
Tablo 2. HESFİBEL ve HERAEUS kuartz fiber 'attenuation' ölçümleri .....	16
Tablo 3. Spektrometre ile kuartz fiber 'attenuation' ölçümleri .....	19
Tablo 4. Kuartz fiber mekanik ölçümleri .....	19
Tablo 5. Radyasyon hasar prototipinde kullanılan kuartz fiberler .....	21
Tablo 6. 'Ribbon' kalorimetre prototipinde kullanılan kuartz fiberler .....	23
Tablo 7. Radyasyon etkisiyle enerji hassasiyetindeki değişim .....	30
Tablo 8. Enerji ölçümlerinde doğrusallık .....	33
Tablo 9. Enerji ölçümlerinde hassasiyet .....	34
Tablo 10. Kuartz fiber dış çap ölçümleri .....	45
Tablo 11. Kuartz fiber kırılma katsayısı ölçümleri .....	45

## ÖZ

CERN (Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı)'de kurulmakta olan büyük hadron çarpıştırıcısı LHC'de, 2004 yılında çalışmaya başlayacak CMS (Compact Muon Solenoid) deneyinde ileri kalorimetre (Forward Calorimeter) Cherenkov ışınması esasına göre çalışacak ve yüksek enerjili parçacıkların enerji ve yön ölçümlerinde kullanılacaktır. Türkiye'den TÜBİTAK desteğiyle tüm üye hakları ile katıldığımız CMS deneyinde ileri kalorimetre detektörünün yapımında Amerika, Rusya ve Macaristan grupları ile ortak olarak sorumluluk taşımaktayız. TÜBİTAK TBAG-1591 nolu proje ile desteklenen bu çalışmada ileri kalorimetrede aktif malzeme olarak kullanılacak kuartz optik fiberlerin üretilmesi ve denenmesi çalışmaları yapılmıştır. Kuartz fiber üretimi bu proje kapsamında ODTÜ-HESFİBEL/Kayseri işbirliğiyle Türkiye'de ilk defa gerçekleştirilmiş bir üretimdir. Üretilen fiberlerin özü (core) saf silika, 300 µm çapındadır. Kaplama malzemeleri ile bu çap 345 µm dur. İç kaplama (cladding) malzemesi flourine katkılı silika ve dış koruma (buffer) malzemesi acrylate dir. Bu fiber tipi MRad düzeylerindeki yüksek radyasyon dozlarına dayanıklıdır. Projemiz kapsamında üretilen fiberler CERN'de çeşitli kalorimetre prototiplerinde ve diğer testlerde benzer teknik özelliklerdeki diğer kuartz fiberler ile birlikte denenmiş, ve radyasyon dayanıklılığı, optik ve mekanik özellikler bakımından CMS deneyinde çalışacak ileri kalorimetrede aktif malzeme olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Bu çalışmanın yürütülmesi ve deneyler TÜBİTAK desteğinin yanında ODTÜ, HESFİBEL fabrikası ve CMS deneyi ileri kalorimetre kollaborasyonuna dahil ülkeler ile ve CERN laboratuvarının katkıları gerçekleşmiştir. Uluslararası büyük bir kollaborasyon ortaklığı içinde üniversite-sanayi araştırma ve geliştirme projesi ile gerçekleştirilen bu çalışma deneysel yüksek enerji deneylerine katkıda ülkemizde ulaşılan yeni bir aşamadır.

**Anahtar kelimeler:** CERN, LHC, CMS deneyi, kalorimetre, kuartz fiber, radyasyon dayanıklılığı.

## ABSTRACT

At Large Hadron Collider (LHC) at CERN (European Laboratory for Particle Physics), CMS (Compact Muon Solenoid) experiment is scheduled to start data taking in 2004. In CMS experiment forward calorimeter is based on Cherenkov radiation and will be used to measure the energy and the direction of high energy particles that scatteres in the forward direction. Turkey, has joined the CMS collaboration with all its membership rights with TUBITAK support and is responsible in the construction of the forward calorimeter together with other collaborating institutes from United States of America, Russia and Hungary. In this project, the production of quartz optical fibers and performance tests has been achieved. This research work is financially supported through the project TUBITAK TBAG-1591. Quartz fibers are the active materials of the forward calorimeters. The fiber production has been done in HESFIBEL/Kayseri with close collaboration of METU experimental high energy physics group. This special optical fiber production is the first of its kind in Turkey. Quartz fibers have 300  $\mu\text{m}$  core diameter. The diameter enlarged to 345  $\mu\text{m}$  with flourine doped quartz cladding and the acrylate buffer. Quartz fibers are radiation resistant up to MRad radiation levels. The fibers produced in this project has been used in several calorimeter prototypes and other tests together with the other quartz fiber samples at CERN. After the tests, the radiation hardness, optical and mechanical properties of Turkish quartz fibers has been shown to be compatible with the other samples and can be used as an active material of the forward calorimeter in CMS experiment. Together with TUBITAK support this research work has also been supported by METU, HESFIBEL factory and other collaborating institutes in the CMS forward calorimeter collaboration and CERN. This work is a good example of contributing to international high energy physics experiment through university and industry reseach and development project.

**Keywords :** CERN, LHC, CMS experiment, calorimeter, quartz fiber, radiation hardness



## I. GİRİŞ

CERN (European Laboratory for Particle Physics) 'deki CMS (Compact Muon Solenoid) deneyi yaklaşık on seneden fazla bir süredir üzerinde çalışmalar yapılan LHC (Large Hadron Collider) hızlandırıcısında 2005 yılında çalışmaya başlayacak dört büyük deneyden biridir. (CMS Collaboration, 1994), Şekil 1. LHC hızlandırıcısı ileri süper iletken teknolojileri kullanarak dünyada proton başına en yüksek enerjiye ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu enerji 7 TeV olacaktır. Bu şekilde kütle merkezinde 14 TeV'lik bir enerjiye ulaşılabilecektir. Proton demetleri birbirleri ile 40 MHz sıklıkla çarpışacaklardır. CMS deneyi bu hızlandırıcıdaki etkileşim noktalarından birine kurulacaktır. Bu deney dünyadaki yaklaşık 150 enstitüden 2000'e yakın bilim adamının katılımı ile gerçekleştirilecek mega bir projedir. CMS deneyinde çok hızlı, hassas ve yüksek radyasyon düzeylerine dayanıklı ileri teknoloji ürünü ölçüm ve veri işleme sistemleri kullanılacaktır. CMS deneyinin amacı yüksek enerji fiziğindeki standart model ve standart model üstü modelleri sınavacak olması ve kütlesi hakkında kesin bir öngörü olmayan Higgs parçacığının bulunmasıdır.

Gurubumuz bugüne kadar olan birikimleri doğrultusunda ve CERN yönetiminin önerileri doğrultusunda ve TÜBİTAK desteğiyle 1996 yılında CMS deneyine tüm üye hakları ile dahil olmuştur. Bu deneyde HCAL (Hadron CALorimeter) HF ( Hadron Forward calorimeter) grubu içinde yer almaktayız. (CMS collaboration, 1997). Bu grupta ayrıca Macaristan, Rusya ve Amerika Birleşik Devletlerinden üniversite ve araştırma merkezi grupları yer almaktadır. HF detektörü proton-proton çarpışmalarında en ileriye doğru saçılacak parçacıkların enerji ve yön ölçümlerini yapacaktır. HF kalorimetresi  $3 < |\eta| < 5$  pseudorapidity aralığında ve proton-proton çarpışma bölgesinden yaklaşık  $\pm 11$  m uzaklıkta kurulacaktır. Şekil 2. Bu detektörün CMS deneyindeki en önemli görevi  $E_t^{miss}$  (missing transverse enerji) ölçümlerini geliştirecek olması ve WW ve ZZ füzyon ile oluşacak ileri jetleri (forward jets) ölçebilecek olmasıdır. İleri jetlerin Higgs üretiminde sinyalin önemli bir parçası olması öngörülmektedir. Ayrıca bu jetler standart model üstü

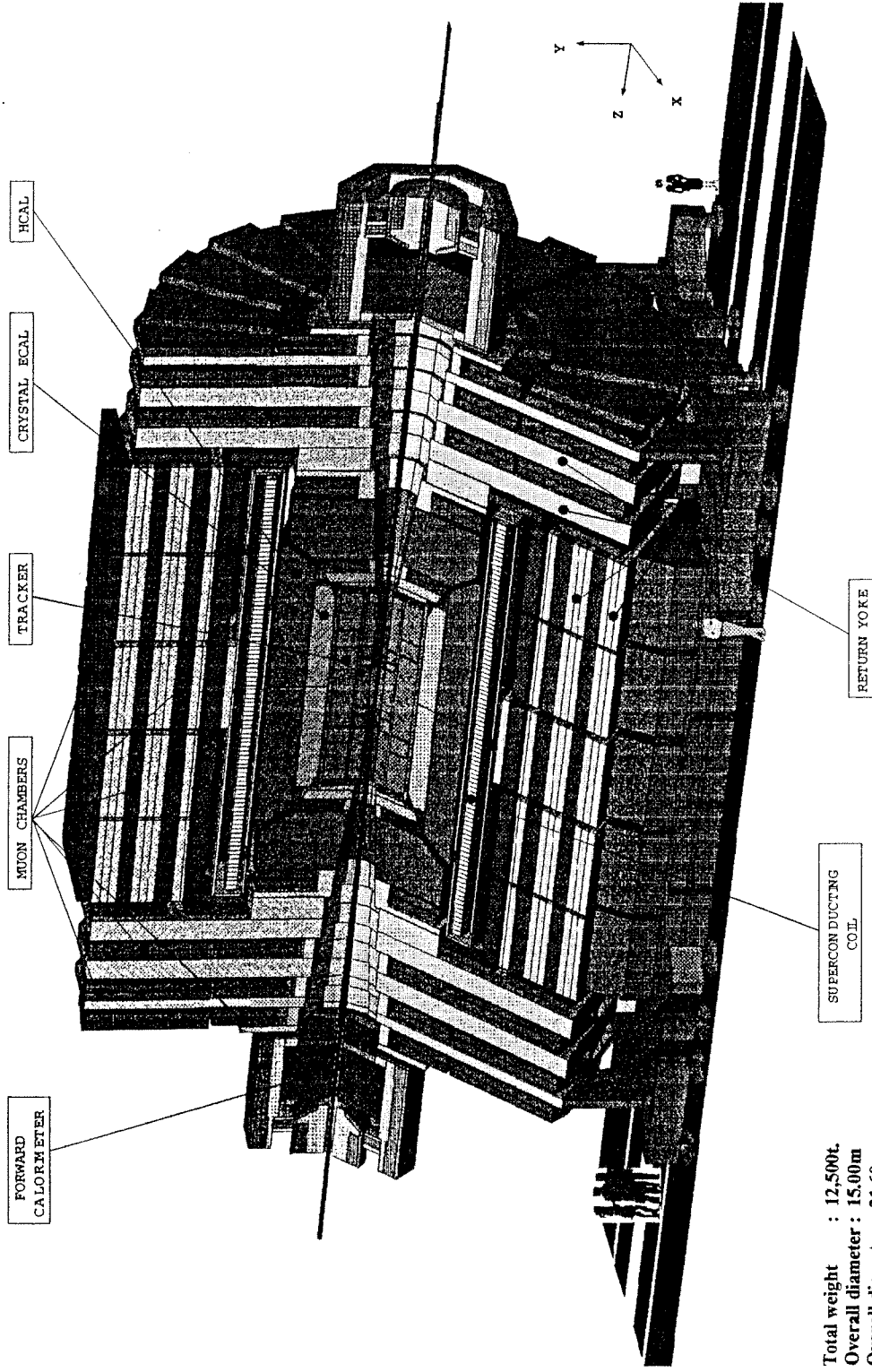
modeller arasında süpersimetrik modellerin öngörülerini olan süper parçacıkların görülmesinde sinyali ayıracak background olarak öngörülmektedir.

HF detektörü deney operasyonu sırasında geometrik konumu gereği çok yüksek dozda radyasyon altında çalışacaktır. Bu doz yılda 100 MRad ('absorbed dose' birimi,  $1\text{Gy}=100\text{Rad}=1\text{joule/kg}$ ) olarak hesaplanmaktadır. Bu şartlarda çalışacak detektör radyasyona dayanıklı ve hızlı çalışacak detektör çelik levhalar arasına yerleştirilecek ince kuartz fiberlerden oluşacaktır. Bu şekilde detektör, Cherenkov ışması esasına göre çalışacak, sadece yüklü parçacıkların geçişi ile Cherenkov ışması yapacak, beklenen radyasyon düzeyine dayanıklı olacak ve nanosaniye düzeyinde çok hızlı sinyaller üretebilecektir.

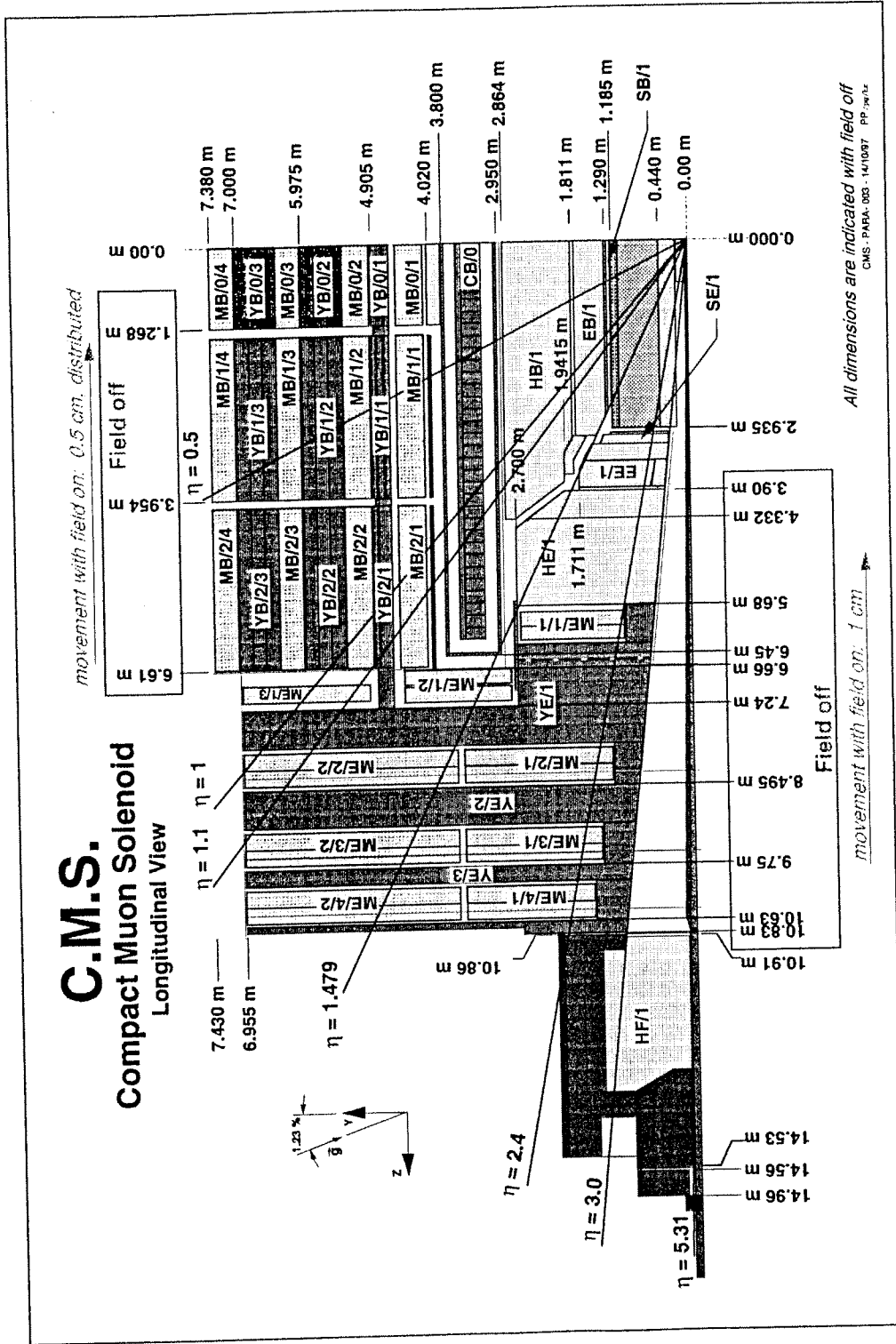
HF detektör grubunda 1996 yılı sonunda başlayan çalışmalarımızda Türk grubunun detektör inşasına aktif katılımı kararlaştırılmıştır. Bu çalışmalarda detektördeki iki temel öge, emici levhalar ve optik fiberlerin üretilmesi öne çıkmıştır. 1997 yılında önerdiğimiz TBAG-1591 projesinde detektör inşasına hazırlık olacak prototip çalışmalarında malzeme geliştirilmesi ve denemeler kapsamında çalışmalarımız sürmüştür. Bu proje önerisinin en önemli tarafı deneysel yüksek enerji fiziğinde bir detektör inşasına aktif katılım ve ulusal sanayi olanaklarının bu amaç için kullanılması ve üniversite-sanayi işbirliğinin bir mega-projede kullanılmasıdır. Projemizin başlangıcında emici levhalar konusundaki denemelerimizde bir yer almış olmasına karşın 1998 yılında Türk grubunun sorumluluğu kuartz fiber üretimi ve testleri çerçevesinde kesinleştirilmiştir. TBAG-1591 projesi kapsamında ArGe çalışmaları sonunda TÜBİTAK'ın CMS deneyine yapacağı katkı HF detektörünün optik kısmına olacaktır. Ayrıca CMS deneyinin ortak harcamalarına katkı yapılmaktadır.

TBAG-1591 projesi kapsamında yapılan ARGE çalışmaları sonunda optik kuartz fiber üretimi yapılmış ve HF grubunca geliştirilen prototiplerde kullanılarak CERN'de parçacık hüzmelerinde denenmiştir. Bu çalışmalar sonunda ve 2000 yılı sonlarına kadar sürecek denemeler ile birlikte HF detektörü için kuartz fiber alımı başlatılacaktır.

# CMS A Compact Solenoidal Detector for LHC



Şekil 1. CMS detektörü



Şekil 2. CMS detektörü boyuna kesiti

TBAG-1591 projesi ile başlayan HESFİBEL ile ODTÜ işbirliğinde prototip detektör için üretilen radyasyona dayanıklı kuartz fiber çalışmaları TÜBİTAK-TİDEB ArGe desteğiyle de sürmekte ve CMS deneyine katkımızın yanında dünya optik fiber pazarında HESFİBEL firması yeni bir ürün ile yer alabilecektir. Bu çalışma sayesinde ODTÜ grubu olarak dünyadaki diğer yüksek enerji fiziği enstitü ve üniversite gruplarının yüksek teknoloji gerektiren sanayi ortaklıkları ilişkisine benzer nitelikte bir ilişkiyi projemiz kapsamında gerçekleştirmiş ve büyük deneysel projelere katılımın gerçekçi ve verimli bir örneğini vermiş bulunuyoruz.

Proje kesin raporunun gelişme bölümü aşağıdaki alt bölümlerden oluşmuştur:

1. HF detektörü malzeme ve yapım teknikleri
2. Emici levhaların geliştirilmesi ve deneme üretimi ile ilgili çalışmalar
3. Kuartz Fiber geliştirilmesi ve üretimi
4. Kolorimetre prototipleri
5. Deneyler ve sonuçları

Proje kesin raporu sonuç ve öneriler kısmı ile bitmektedir.

## II. GELİŞME

### 2.1 HF detektörü malzemeleri ve yapım tekniği

Enerji ve yön ölçümlerinde kullanılan kalorimetrelerde temel malzeme emici levhalar ve aktif malzemelerdir. HF detektöründe kullanılacak emici levhalar önceleri bakır plakalar olarak planlanmaktaydı. Maliyet açısından daha sonra çelik levhalara karar verilmiştir. Aktif malzeme olarak radyasyon dayanıklılığı ve Cherenkov ışımasındaki verimliliği nedeni ile kuartz optik fiber seçilmiştir.

HF detektörünün yapımı emici levhalara yerleştirilecek kuartz fiberlerden oluşmaktadır. Detektör çalışmalarının ilk aşamasında bakır levhaların yüzeyi kimyasal erezyon tekniğiyle oyularak içlerine fiberlerin yerleştirilmesi tekniği düşünülmekteydi. Bu teknikle yapılan prototipler 1996-1998 yıllarında denenmiştir. (N. Akchurin et. al., 1997, 1998). Ancak hem malzeme ve işleme maliyeti hem de büyük ölçekte bir detektörün zamanında yapılabilmesi açısından güçlükler görülmüştür. Bu nedenle 1998 yılında detektör emici malzemesi bakır yerine çelik seçilmiştir. Aynı zamanda fiberlerin içine gireceği oyuklarda üzerinde oyukları ezerek açacak iki merdanenin arasına sokulacak bir düzenekle mekanik olarak yapılmasına karar verilmiştir. Levhalar 'diffusion welding' tekniğiyle bir araya getirilip moduller oluşturulacaktır. Fiberler bu modullerdeki oyuklara yerleştirilecektir. Bu teknik temel teknik olarak kabul edilmiştir.

Temel teknikte çelik levhalar 2 ve 3 mm kalınlığında 240 mm eninde ve 1650 mm boyunda çelik levhalardır. 3 mm lik levhaların iki yüzüde fiberlerin girebileceği 0.5 mm boyutunda oyulmuştur. 2 mm düz levhalar 3mm lik oyuk açılmış levhalar arasına yerleştirilmiştir. Kuartz fiberler 300 mikron iç çapta (core) dır. Kaplama malzemeleri (clad ve buffer) ile dış çap 350 mikrona ulaşmaktadır. Emici çelik levhalar içine yerleştirilen fiberlerin boyları uzun tutularak emici çelik kütle dışına çıkan uçlar gruplar 'bundle' haline getirilip temizlenip parlatılarak PM (PhotoMultiplier) tüplere birleştirilir.

## 2.2 Emici levhalar ve yüzeylerine oyuk açılması ile ilgili çalışmalar

Temel tekniğin yanında projemizin ilk altı ayında Macaristan KFKI enstitüsünün önerileri ile grubumuz alternatif bir teknik olabilecek ve detektörün yapımını özellikle fiberlerin detektöre yerleştirilmesini kolaylaştırıp detektör maliyetini ucuzlatacak 'ribbon' tekniği üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalarda yapılan denemeler şunlardır:

- a) Levhaların yüzeyine teller yerleştirilerek aralarına fiberleri yerleştirmek, levhaları daha sonra üst üste yerleştirmek.
- b) Levhaların yüzeyine bakır ve kuartz fiberlerden oluşacak 'ribbon' ların koyulması levhaların sonra üst üste yerleştirilmesi.

Kimyasal kompozisyon, ölçülerdeki hassasiyet ve yüzey temizliği açısından yaptığımız çalışmalar sonucunda bakır levhaların KAYALAR A.Ş. (İstanbul) firmasında üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu plakalar elektrolitik bakırdan (Cu11000) imal edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre çok az Kalay (Sn), 0.0009%, ve Fosfor, 0.0014% dışında Bakır (Cu) oranı 99.991% olarak bulunmuştur. 300 mm eninde ve 1650 mm boynundaki levhaların kalınlıkları 2 ve 2.5 mm dir. Bu levhalardaki en ve boydaki hassasiyet 2 mm, kalınlıkdaki hassasiyet 0.2 mm dir.

Bu plakalar ile Budapeşte'de, KFKI enstitüsü ile ortaklaşa olarak a) tasarımına uygun bir mekanik deneme modülü yapılmıştır.

Aynı zamanda ODTÜ Fizik bölümü mekanik atölyesinde proje kapsamında alınan bazı parçaların da yardımı ile bakır levhalar üzerine freze ile 0.5 mm oyuk açma tekniği denenmiştir. Tek tek fiberlerin girebileceği oyukların açıldığı bu method başarılı olmuş ancak işlemin uzun süresi ve 1-2 m uzunluklardaki güçlükleri dezavantaj olarak ortaya çıkmıştır. Ribbonların koyulabileceği daha geniş oyuklar açılması da bakır levhalar üzerinde denenmiştir.

Giriş bölümünde sözü edilen 1998 yılındaki iş bölümü çerçevesinde detektör geliştirme kapsamında emici levhalar ile ilgili çalışmalarımız üretilen bakır levhalar ve sözü edilen ribbon tekniğiyle ilgili mekanik ön prototipin yapılması ve bazı oyuk açma teknikleri ile sınırlı kalmıştır.

Ribbon tekniğiyle 1998 ve 1999 yıllarında projemiz kapsamında daha çok optik kısımdaki katkılarımız ile iki prototip inşa edilmiş ve CERN’de parçacık hüzmelerinde denenmiştir. Bu prototip ve testlere prototip ve deneyler kısımlarında tekrar dönülecektir.

Temel tasarımın ilk prototipi (PPP:Pre-Production-Prototype) 1999 yılında yapılmış ve CERN’de parçacık hüzmelerinde denenmiştir. Projemiz kapsamında optik kısımda katkılarımız olmuştur. Bu prototip ve testlere prototip ve deneyler kısımlarında tekrar dönülecektir.



## 2.3 Kuartz fiber geliştirilmesi ve üretimi

İletişim teknolojilerinin vazgeçilmez aracı olan optik fiber ağlarının son yıllarda deneysel yüksek enerji fiziğinde detektörlerde aktif malzeme olarak kullanılması yaygınlaşmıştır. Kalorimetre uygulamalarında ışık verebilen plastik fiberler (scintillating fibers) kullanılmıştır. Bu projede konu edilen kalorimetre ise parçacıkların geçişi ile oluşan Cherenkov ışığının bir kısmının fiber içinde kalarak fiber boyunca iletilip foton detektörlere ulaştıran bir sistemdir. CMS deneyinde kullanılacak bu detektör büyük ölçekteki ilk uygulama olacaktır.

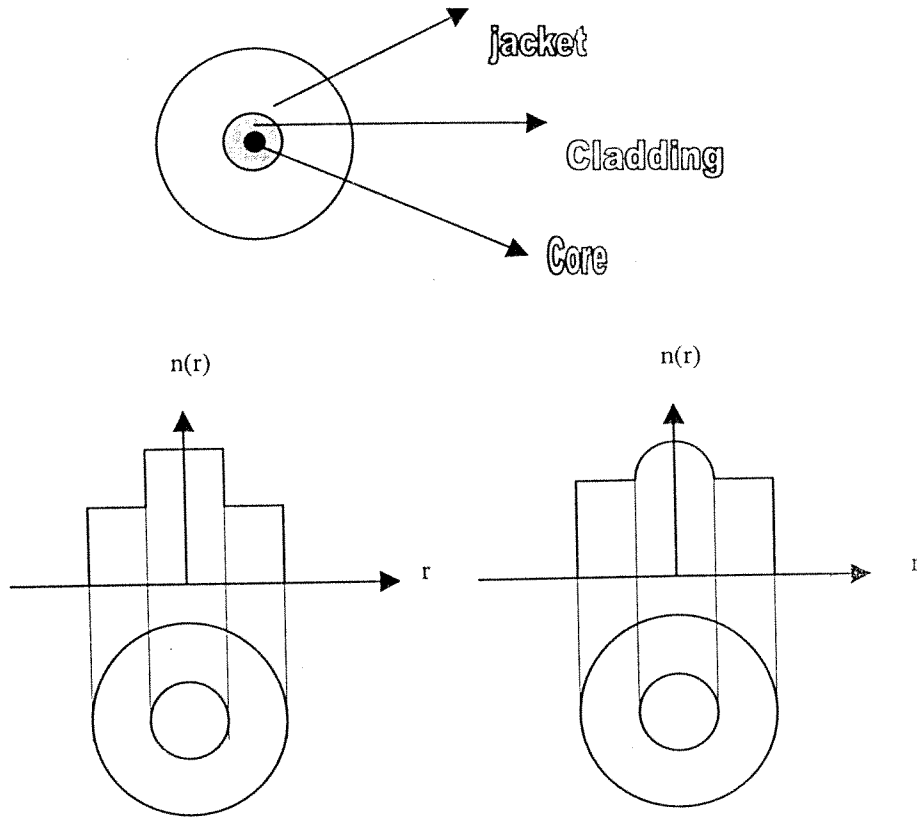
CMS deneyinde ileri kalorimetrede kullanılacak detektörde aktif malzeme olarak kuartz fiber seçimindeki en önemli neden radyasyon dayanıklılığıdır. Deney sırasında ortaya çıkacak yüksek radyasyon dozlarına dayanıklı olabilecek fiber örnekleri bu projede ve CMS-HF kollaborasyonu tarafından yürütülen diğer projelerde çalışılmıştır.

LHC operasyonu sırasında oluşacak parçacık akısı çok yüksektir. HF detektörünün iç bölgesine karşılık gelen  $4.5 < \eta < 5$  pseudorapidity aralığında bu akı  $6 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  düzeyinde olacaktır. Bu şekilde detektörün karşı kalacağı doz yılda 100 MRad düzeyine erişecektir. Parçacıkların HF kalorimetresi üzerinde büyük nötron akıları ve emici levhalar üzerinde çeşitli aktivasyonlar yapacağıda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu şartlarda detektörün az bakım ve müdahale ile uzun yıllar kullanılması hedeflenmektedir. Bu nedenle kuartz fiber seçimi ve radyasyon dayanıklılığı bu detektörün inşasında çok önemlidir.

### 2.3.1 Fiber Optik

Optik fiberler silindirik geometride elektromanyetik enerjiyi iletip yönlendiren dielektrik ortamlardır. Optik fiberlerde core kısmı cladding ile kapatıldıktan sonra sistem bir mekanik koruma amacı ile ceket içine geçirilir. Cladding'in kırılma indisi core'dan daha küçüktür. Bu şekilde iletilen enerji fiber dışına taşmaz, aynı zamanda cladding core

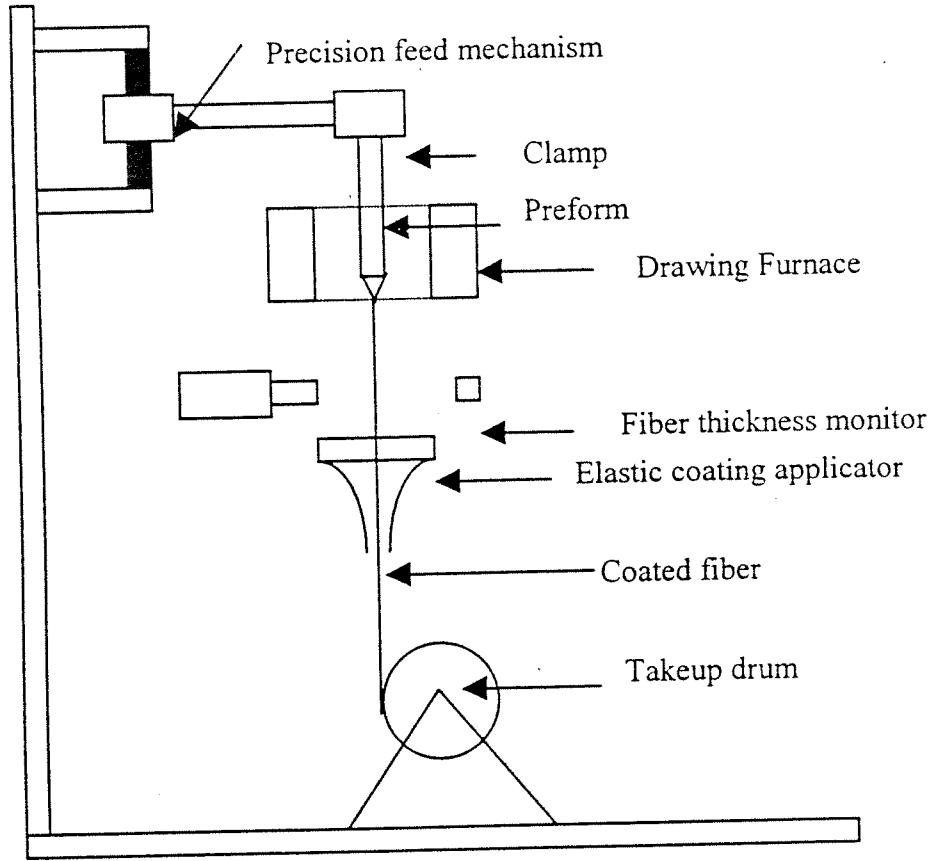
yüzeyindeki dielektrik süreklilik bozukluklarını azaltır. Mekanik olarak core'u korur. Fiberler kırılma indislerinin özelliklerine göre ikiye ayrılırlar. Step-index fiberlerde core kırılma indisi cladding sınırında ani olarak değişir. Graded-index fiberlerde core kırılma indisi cladding sınırına ulaşıncaya kadar radyal uzaklığın fonksiyonu olarak yavaş değişir, Şekil 3. Fiberler aynı zamanda singlemode ve multimode gruplarına ayrılırlar. Singlemode fiberler geniş bandwidth çalışırlar ve çoğunlukla step-index tipindedirler. Multimode fiberler ise çoğunlukla graded-index üretilirler. Yüzden fazla değişik mode dalganın iletiminin mümkün olduğu multimode fiberlerde modlar arası saçılma ve yokolma graded-index ile aza indirilebilir. Core yarıçapları singlemode fiberlerde 5-10  $\mu\text{m}$  ve multimode fiberlerde 50-100  $\mu\text{m}$  değişmektedir. Cladding yarıçapları 100-400  $\mu\text{m}$  arasındadır. Dünyada telekomünikasyon uygulamalarında single mode fiber kullanılmaktadır. LAN (Local Area Networking) uygulamalarında ise multimode fiberler kullanılmaktadır.



Şekil 3. Optik fiber kesiti, step ve graded index fiber yapısı

Fiberler silica ve plastikten üretilir. Fiberlerin çoğu silica ( $\text{SiO}_2$ ) dan üretilir. Doğada saf silica kristal (kuartz) ve amorf yapılarda bulunur. Optik fiberlerde kırılma indisi birbirinden çok az farklılık gösteren core ve cladding malzemeleri üretiminde flourine ya da  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  oksitleri silica ya eklenir.  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  kırılma indisini artırır, flourine ya da  $\text{B}_2\text{O}_3$  eklenmesi indisi azaltır. GeSi core ve Si cladding single mode fiberlerde sıkça kullanılan kompozisyonudur.

Fiber üretiminde fiber preform (kütük) üretimi ve fiberin çekilmesi temel aşamalardır. Preform üreticisi firmalar olduğu gibi fiber üretimi yapılan fabrikalarda preform üretimi ve fiber çekilmesi birlikte yapılabilmektedir. Preform üretiminde MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) tekniği yaygındır. Bu üretimde  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{GeCl}_4$ ,  $\text{POCl}_3$  kimyasalları ve kuartz boru kullanılır. Bu teknikte oksijenle reaksiyona giren bu kimyasallar kuartz boru içinde  $\text{SiO}_2$  tozlarının toplanması sağlanır. MCVD yöntemi single mode ve multimode fiber preformların üretiminde kullanılmaktadır. Bu üretim sonunda 10-25 mm yarıçapında ve 60-120 cm uzunluğunda temiz cam preformlar elde edilir. Fiberler bu preformlardan Şekil 4. de gösterilen 10-15 m yüksekliğindeki kulelerde çekilir. Bu kulelerde preformun 10-15 cm lik kısmı dairesel bir ısıtıcının (drawing furnace) içine girer ve orada yumuşatılır ve çok ince bir iplik şeklinde yönlendirilir. Fiberin sarım hızı fiberin hangi hızla çekildiğini ve kalınlığını belirler. Monitörler aracılığı ile fiber kalınlığı kontrol edilir. Fiberi toz ve nem gibi dış etkilerden korumak için dışı çekim sırasında elastik bir ceket ile kaplanır.



Şekil 4. Fiber çekme kulesi (drawing tower) şeması

### 2.3.2 Cherenkov Işıması

Projemiz kapsamında üretimi yapılan QQ fiberde SiO<sub>2</sub> core seçimi Cherenkov ışınımı esasına dayanan detektör uygulamımıza uygunluğu açısından bir tercihtir. Cherenkov ışınması yüklü parçacıkların ortam içinden geçerken hızlarının o ortamdaki ışık hızını geçmesi ile ortaya çıkar. Işık sabit bir açıyla yayılır, Şekil 5. Bu açı aşağıdaki gibi verilir:

$$\cos \theta = 1/\beta n$$

$\beta=v/c$ , yüklü parçacığın  $n$  kırılma indisli ortamdaki hızıdır. Cherenkov ışınmasında maksimum açı  $\cos \theta_{\max} = 1/n$  ( $v=c$ ) dir. Minimum parçacık hızıda  $\beta = 1/n$  dir.

QQ optik fiberde  $n_{\text{core}} = 1.4571$  ve  $n_{\text{clad}} = 1.440$  dir. Bu şekilde yukarıdaki formüle göre  $\theta_{\max} = 47^\circ$  ve Cherenkov ışınması için minimum hız  $\beta = 0.69$  olmaktadır. QQ fiberin Numerical Aperture (NA) değeri

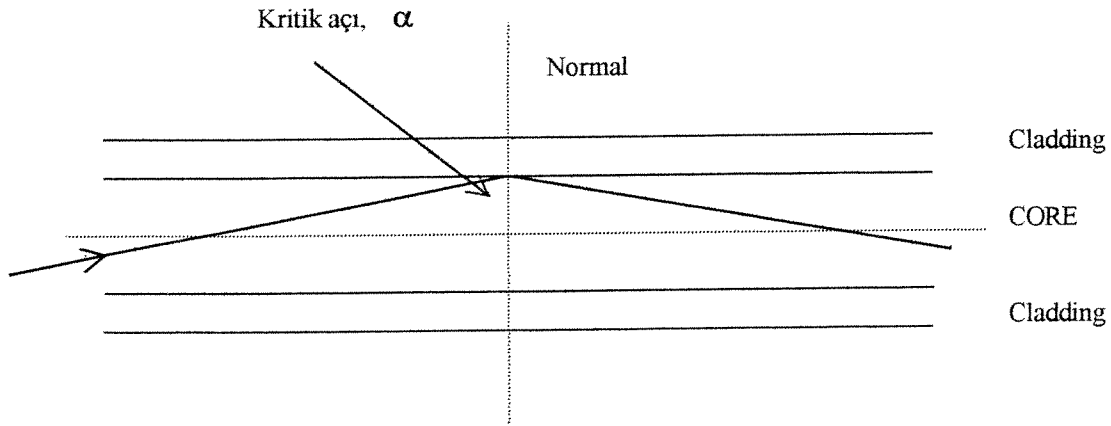
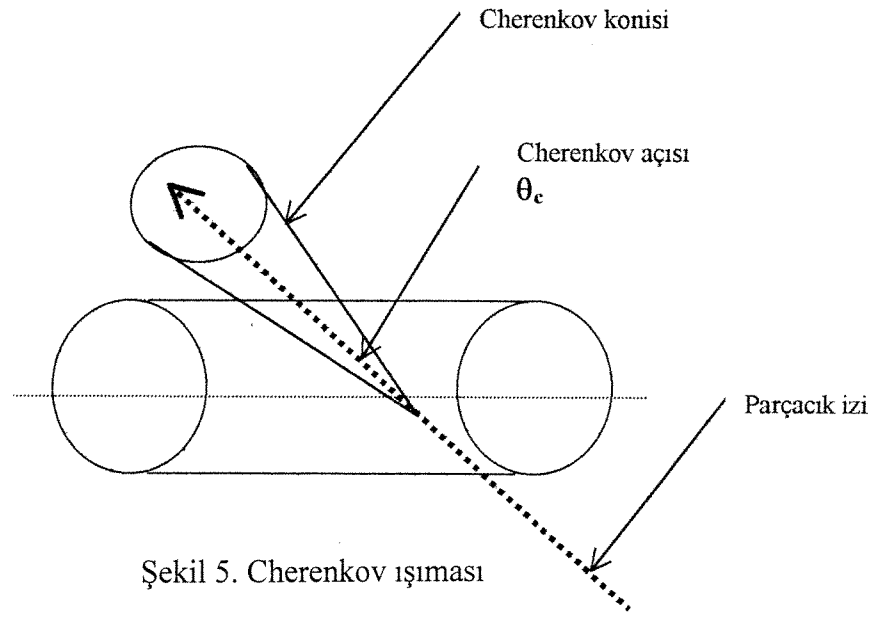
$$NA = \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}$$

0.22 dir.

QQ fiberde tam yansıma için kritik açı  $\alpha = \arcsin (n_{\text{clad}}/ n_{\text{core}})$ , yaklaşık  $82^\circ$  olmaktadır. Kritik açı ve daha büyük açılarda tam yansıma oluşur, Şekil 6. Bu uygulamada Cherenkov ışınma konisi ( $\sim 45^\circ$ ) ile QQ optik fiberin NA konisinin ( $\sim 10^\circ$ ) kesiştiği bölgedeki ışık detektörde fiber içinde iletilebilir ve PM (PhotoMultiplier) tüplere ulaşacaktır. Bu kesişme aralığı yüksek NA değerlerinde daha geniş olabilmektedir.

Kuartz optik fiberler detektör uygulamasında parçacık hüzmesine paralel olarak yerleştirilecektir. Optik fiber içinde Cherenkov ışınması en çok  $45^\circ$  açıyla gelen yüklü parçacıklar tarafından oluşturulmaktadır.  $0^\circ$  açı uygulamasında ise daha çok  $45^\circ$  açıyla fiber içine yayılan parçacıkların oluşturduğu ışınma fiber içinde iletilir. Cherenkov ışık

üretimi bu geometride fiberlerin optik özellikleri (core ve clad kırılma indisleri, fiberin ışığa duyarlı spektral aralığı) ve parçacıkların geliş hızlarına da bağlı olarak optimumdur. Optik fiberlerde Cherenkov ışınması UV spektral bölgede olmaktadır. PM (PhotoMultiplier) tüplerin hassiyetleri de bu bölgede uygun olmaktadır. Bu uygulamada yaklaşık 200-700 nm spektral aralığında çalışılmıştır.



### 2.3.3 HESFİBEL kuartz fiber üretimi

Bu projede söz konusu olan optik fiber özel bir kategoridir. Ancak yapısı ve üretimi yukarıda anlatılan temel kavramlar kapsamındadır. Detektör uygulamamızda geliştirdiğimiz fiber multimode ve step-index tipinde 300/315/345  $\mu\text{m}$  core/clad/buffer çapındadır. Core çapı clad ile 315  $\mu\text{m}$  ve buffer ile 345  $\mu\text{m}$  a çıkarılmıştır. 345  $\mu\text{m}$  fiberin dış çapıdır. Core silica, clad flourine doped silica ve buffer yani ceket kısmı acrylate dir. Bu fiber raporda daha sonra QQ diye anılacaktır.

Türkiye'deki bu ilk uygulamada, Kayseri HESFİBEL fabrikası fiber üretimi yapan tek firma olarak bu üretimde üretici firma olarak seçilmiştir. İstenilen özelliklerdeki fiber preform, 10 km uzunlukta QQ fiberin üretimi için preform üreticisi bir firma olan HEREAUS (Almanya)'dan alınmıştır. HESFİBEL firmasında telekomünikasyon uygulamalardaki ana üretimleri olan 9/124/250  $\mu\text{m}$  core/clad/buffer çapındaki GeSi core silica cladding ve acrylate ceketli fiberin üretiminin yapıldığı kulelerde bu preformlardan istenilen fiberin çekilmesi gerçekleştirilmiştir. Burada ceket malzemesi olarak HESFİBEL'de fiber çekme kulelerinde mevcut sistem UV ile kuruyan acrylate kullanılmıştır. Bu malzeme polimide grubundan da olabilmektedir.

HESFİBEL tarafından SSU1.05 ( step-index, high OH content, uniformly doped, 1.05 Cladding to Core Diameter Ratio, CCDR) preformun çekilmesi ve fiberin dış çapının UV ile kuruyan acrylate malzeme ile 345  $\mu\text{m}$  getirilmesi ile 10 km uzunluğundaki QQ fiber üretilmiştir. Bu üretimde kule şartları iki defa değiştirilmiştir, Tablo 1.

Tablo 1. Kuartz fiber üretim şartları

	QQ ilk üretim (3km)	QQ İkinci üretim (7km)
Furnace Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	1850	2100
Drawing speed (m/min)	63	50
Tension (gr)	118	110

İkinci üretim parametreleri fiberin mekanik ve optik özelliklerinde daha iyi sonuçlar vermiştir. HESFİBEL’de bu özel üretimin optik testlerinin yapılması mümkün olmamıştır. Üretilen fiberin multimode oluşu ve çapının eldeki spektral ölçüm cihazlarına uymaması bunda etkindir. Bu nedenle optik özellikleri attenuation ölçümleri için HERAEUS-Almanya firmasına üretilen örnek yollanmıştır. Burada attenuation (zayıflama) ölçümleri yapılmıştır. Tablo 2. de HESFİBEL QQ ölçümleri ile HERAEUS firmasının SSU fiber örneğinin attenuation değerleri karşılaştırılmaktadır. Şekil 7. de bu HESFİBEL QQ ölçümleri gösterilmektedir. Dalga boy aralığı optik fiberin ışığa duyarlı spektral aralığıdır. Attenuation (zayıflama) değeri belli bir wavelegth (dalgaboyu) na göre aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır :

$$\alpha(\lambda) = -10/L \log P(\lambda)/P_0(\lambda)$$

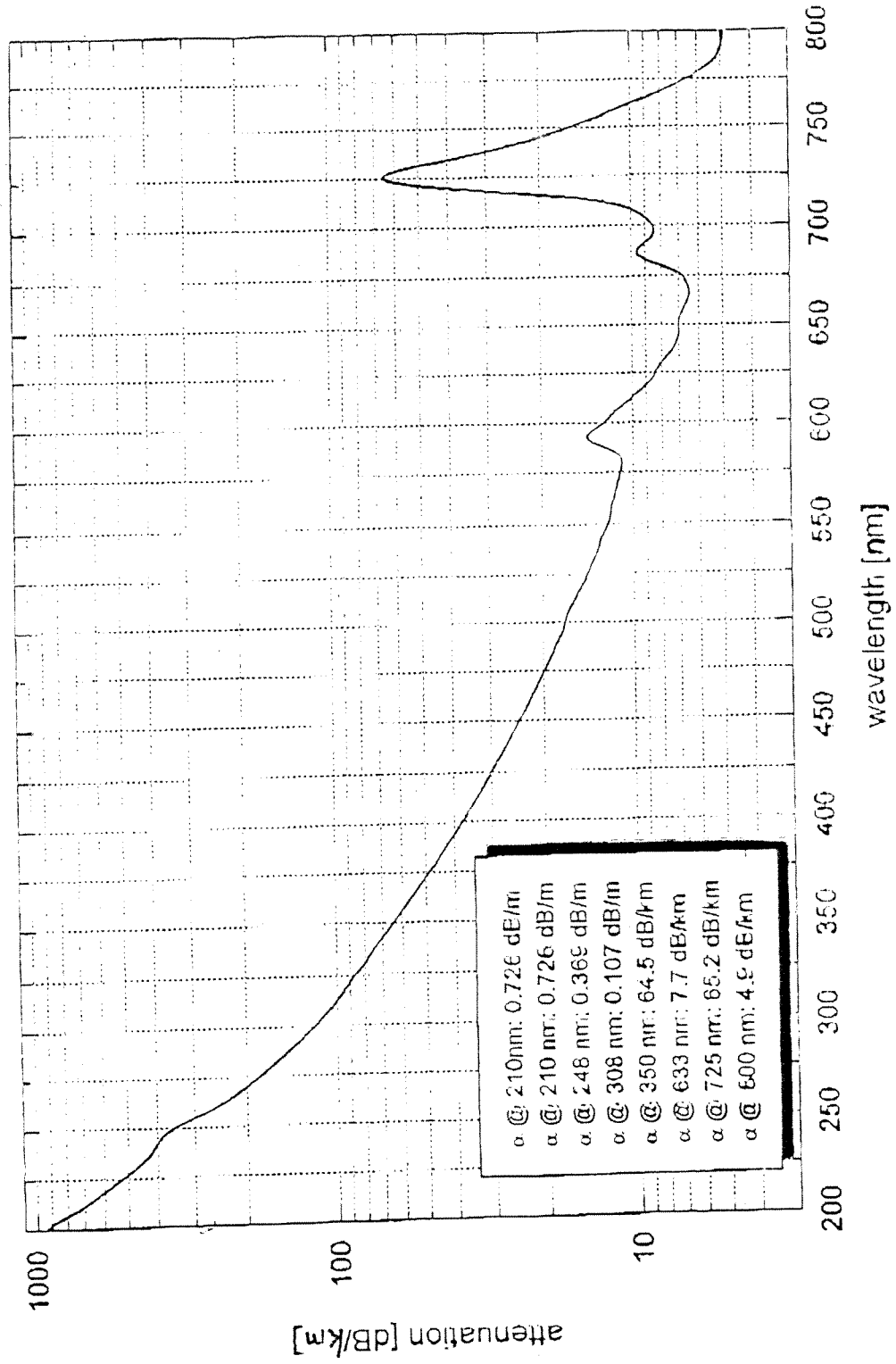
L fiberin metre cinsinden uzunluğu,  $P_0(\lambda)$  ve  $P(\lambda)$  fiber tarafından tutulan ve yollanılan ışığın güçlerini gösterir.

Tablo 2. HESFİBEL kuartz fiber ve HERAEUS SSU fiber ‘attenuation’ ölçümleri

Wavelength (nm)	QQ Hesfibel Attenuation (dB/m)	HERAEUS SSU fiber Attenuation (dB/m)
210	0.726	1.
248	0.369	0.38
308	0.107	0.12
350	0.064	0.07
633	0.008	0.007
725	0.065	0.065
800	0.005	0.005

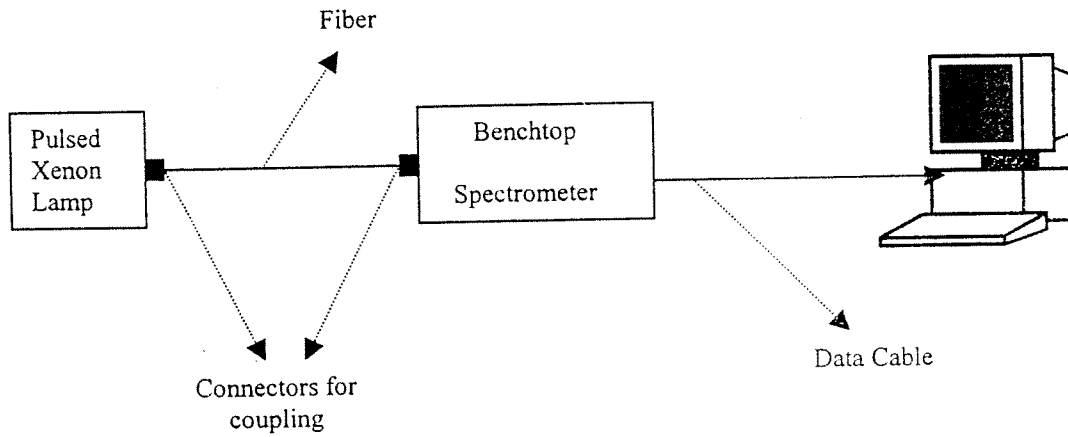
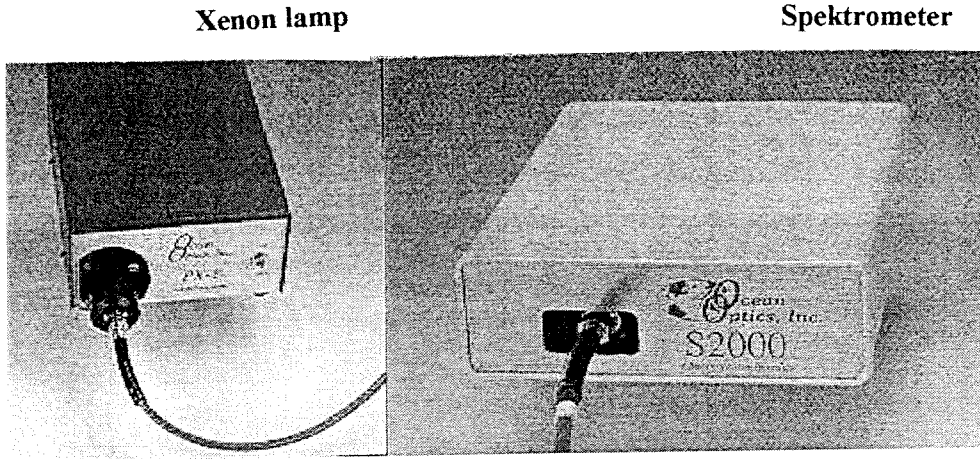


attenuation of Heshfel multimode fiber: SSU 1.05, OD=315µm, batch: 75005700



Şekil 7. HESFİBEL kuartz fiber 'attenuation' ölçümleri

Bu çalışmaya ek olarak ODTÜ'de Fizik bölümü AFP kaynağından sağlanan destek ile alınan hassas spektrometre ile aynı ölçümler yapılmıştır. Bu spektrometre sistemi UV aralığında 220-700 nm aralığında çalışan Xenon lamba, ve CCD kameradan oluşan bir kısımdan oluşmaktadır. Kamera sinyali bilgisayar üstünde kurulu A/D çevirici ile bağlanmaktadır. Bilgisayar üstünde kurulu LABVIEW altında çalışabilen özel bir program ile data analizi yapılabilmektedir. Spektrometrenin spektral analiz hassasiyeti 1nm den azdır. Şekil 8. Spektrometrenin çalışma yöntemini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 8. Spektrometre

Bu spektrometre ile yapılan ölçümlerde elde edilen veriler Tablo 3. de gösterilmiştir. Birinci satır nm cinsinden dalgaboyu, ikinci satır dB/m cinsinden attenuation (zayıflama) değerlerini göstermektedir.

Tablo 3. Spektrometre ile kuartz fiber 'attenuation' ölçümleri

nm	220	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
dB/m	1.33	0.98	0.56	0.48	0.37	0.28	0.28	0.40	0.48	0.55	0.59	0.46

Tablo 3. deki ölçümlerdeki attenuation (zayıflama) değerleri Tablo 2. deki değerlerden yüksektir. Bu farklılık esas olarak spektrometreye takılan konektörlere fiberlerin iyi yerleştirilememesi ve uçların beklenen bir şekilde parlatılmamasından kaynaklanmaktadır. Kuartz fiberin zayıflama dağılımındaki tipik özellik olan 700 nm civarındaki yükselme ve 450-500 nm de azalma gözlenmektedir.

Üretilen QQ fiberin geometrik ölçümleri HESFİBEL firması tarafından yapılmış ve Tablo 4. deki aralıklarda sonuçlar alınmıştır.

Tablo 4. Kuartz fiber mekanik ölçümleri

Core çapı	300-305 $\mu\text{m}$
Clad çapı	315-320 $\mu\text{m}$
Buffer çapı	345-350 $\mu\text{m}$

## 2.4 Kalorimetre Prototipleri

HF grubu içinde projemiz kapsamında dahil olduğumuz deneysel çalışmalarda kollaborasyon tarafından yapılan kalorimetre prototipleri şunlardır.

### 2.4.1 Radyasyon hasar prototipi

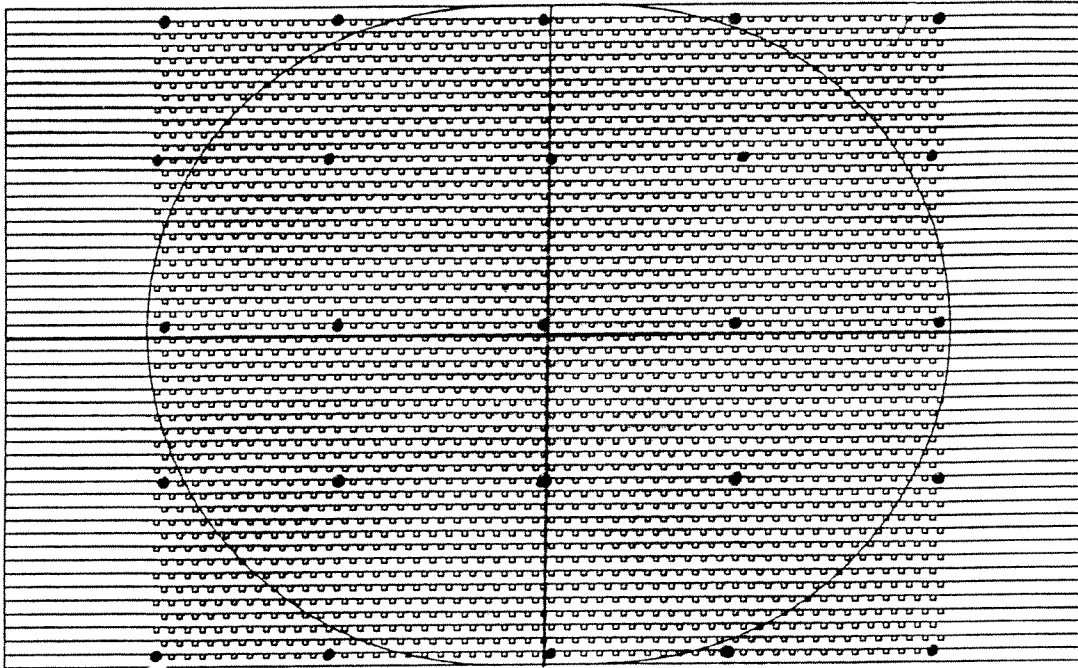
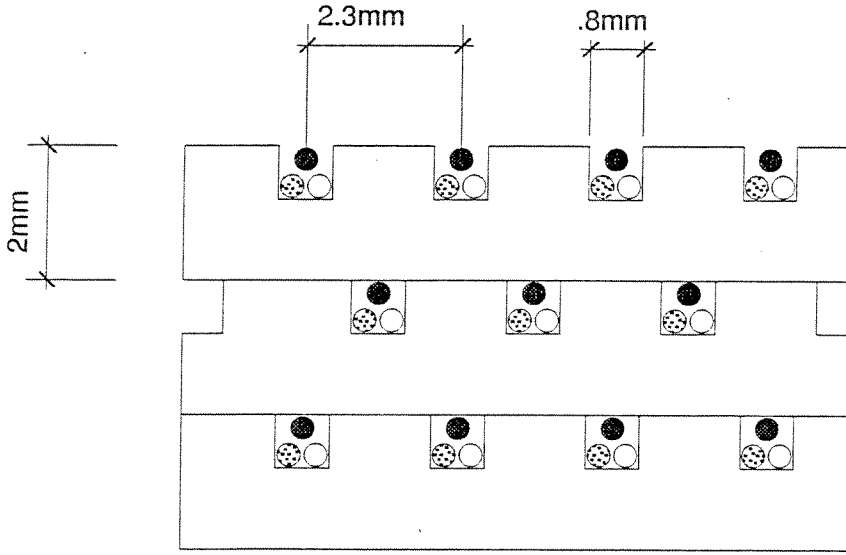
Bu detektör 40 cm derinliğinde bakır emici levhalar içine yerleştirilmiş değişik kuartz fiberlerin kullanıldığı bir modüldür. Detektörün emici kısmı Iowa üniversitesinde yapılmıştır. Detektör emici kısmı 50 adet 2 mm lik yüzeylerine oyuklar açılmış bakır levhalardan oluşmuştur. Levhalar yüzeyindeki oyuklar 0.8 mm eninde ve 0.8 mm derinliğindedir. İki oyuğun merkezleri arasındaki uzaklık 2.3 mm dir. Her bir oyuğa 3 ayrı fiber yerleştirilmiş ve her bir fiber tipi ayrı bir PM (PhotoMultiplier) ile birleştirilmiştir. Parçacıkların enerji ölçümleri ve prototipin radyasyon dayanıklılığı bu şekilde birbirinden bağımsız 3 şekilde çalışılmıştır. Prototip parçacıkların geçtiği yüzeyde 5cm × 5cm lik 4 ayrı 'tower' a bölünmüş ve 40 cm lik derinliğe sahiptir, Şekil 9. Ayrıca kalibrasyon amacı ile detektöre içine radyoaktif kaynak yerleştirilebilen tüpler yerleştirilmiştir. Bu detektörde 3 ayrı tip fiber kullanılmıştır. Bu fiberler ayrı firmaların ürünü olup 300 µm kuartz core, 315 µm flourine doped kuartz clad ve 345 µm kaplama malzemesi (buffer) ile kaplanmış silica kuartz fiberdir. Detektörde 6 km civarında fiber kullanılmıştır. 625 fiber bir PM tüpüne bağlanarak detektörden parçacıkların geçişi ile oluşan Cherenkov ışınması sinyallere çevrilerek parçacık enerjileri ölçülmüştür. Prototip detektör CERN'e yollanmış ve CERN'de Mayıs 1998'de yüksek enerjili elektron ve pion hüzmelerine tutularak performans testleri yapılmış daha sonra prototip CERN LIL (Linear Injector for LEP) hızlandırıcısında 0.5 GeV lik elektron hızlandırıcısında elektron hüzmelerine tutulmuştur. Bu çalışmada amaç detektörün LHC hızlandırıcısında maruz kalacağı radyasyon düzeylerine ulaşarak detektörün radyasyon dayanıklılığını kontrol etmektir. Ağustos 1998'de prototip tekrar elektron ve pion hüzmelerine tutularak performans deneyleri tekrarlanmıştır. Bu prototip detektörde bölüm 2.3.3 de sözü edilen QQ fiberden 2 km kullanılmıştır. Bu fiberler Iowa üniversitesine gönderilmiş ve

projemize dahil öğrenciler tarafından emici levhalar içine yerleştirilmiştir. Tablo 5. de prototipte kullanılan diğer fiberler gösterilmiştir.

Tablo 5. Radyasyon hasar prototipinde kullanılan kuartz fiberler

'Tower' numarası	Fiber tipi	Üretici firma
1	QQ	Polymicro (ABD)
2	QQ	Polymicro (ABD)
3	QQ	Polymicro (ABD)
4	QQ	Polymicro (ABD)
5	QQ	INFOS (Rusya)
6	QQ	INFOS (Rusya)
7	QQ	HESFİBEL (Türkiye)
8	QQ	HESFİBEL (Türkiye)
9	QQ	HESFİBEL (Türkiye)

Radyasyon hasar prototipinde Tablo 5 de gösterilen 9 ayrı PM tüpüne bağlanıp sinyallerin toplandığı QQ fiber tiplerinin yanında, Polymicro firması tarafından Rusya'da başka bir preform üreticisinden alınan 1.05 CC DR preformdan imal edilen fiber ve yine Polymicro firması tarafından 1.02 CC DR preformdan üretilen bir başka QQ fiber daha kullanılmıştır. Özellikle 1.02 CC DR (core 300  $\mu\text{m}$ , clad 305  $\mu\text{m}$ ) fiberin radyasyon dayanıklılığı 1.05 CC DR fibere göre daha az olması varsayılmaktadır. Bu şekilde 5 ayrı tip QQ fiber bu prototipte denenmiştir.



Şekil 9. Radyasyon hasar prototipi

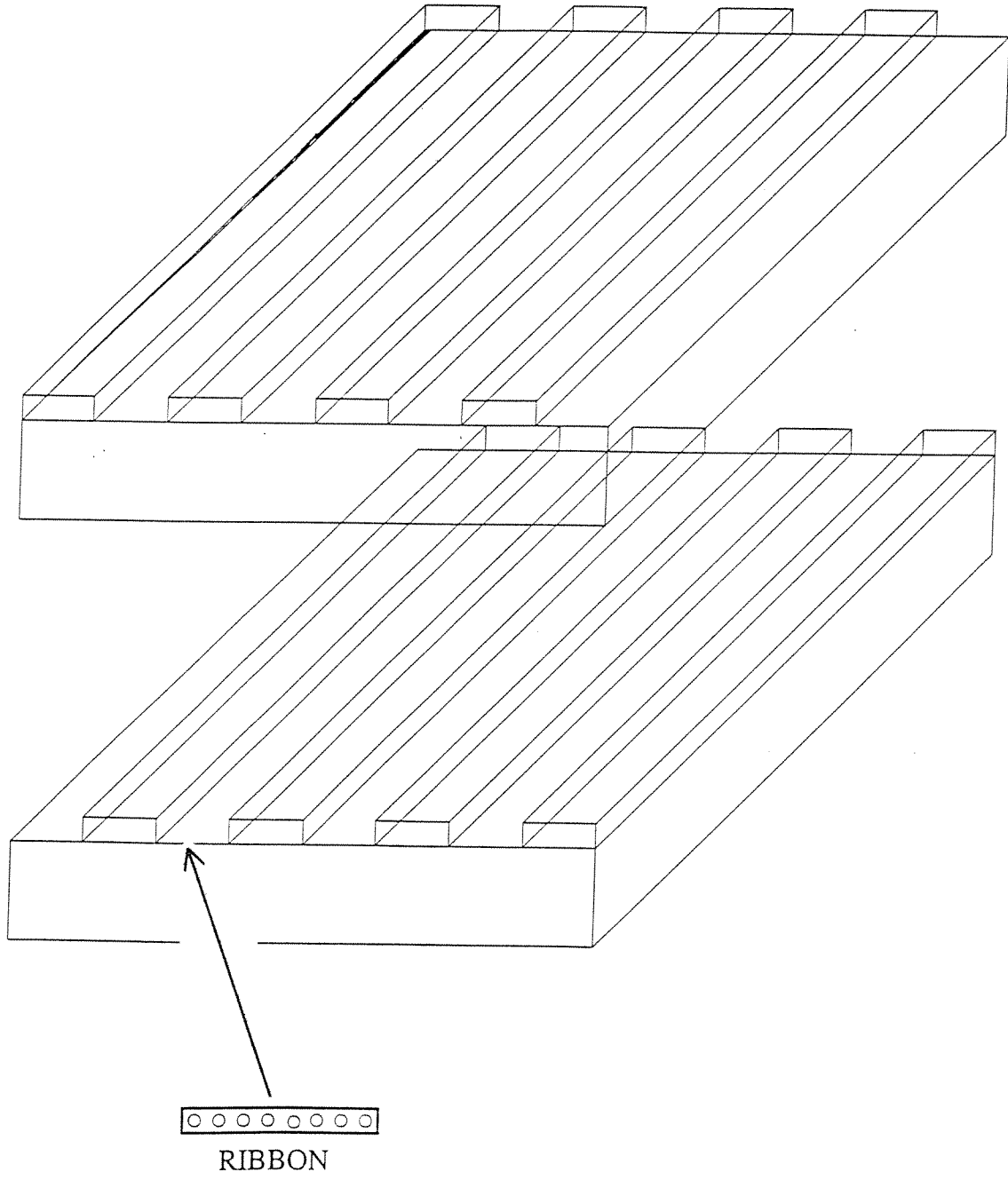
## 2.4.2 Ribbon kalorimetre prototipi

Bu detektör demir levhalar üstüne ince demir şeritlerin konulduğu emici kısım ve fiberlerin yan yana getirilerek ‘ribbon’ halinde yerleştirildiği modüldür, Şekil 10. Bu prototip 1. Maddede sözü edilen radyasyon hasar prototipinden ayrı olarak HF detektörü prototipi olarak tasarlanmıştır, 330 × 300 × 1650 mm boyutlarındadır. Emici kısım 1 mm kalınlığındaki çelik levhalardan oluşmaktadır. Levhaların yüzeylerine 0.5 mm kalınlığında çelik şeritler ‘spot welding’ yöntemi ile yerleştirilmiştir. 220 cm uzunluğunda 24 fiber bu çelik şeritler arasına yan yana getirilerek ‘ribbon’ yapılmış ve yerleştirilmiştir. Prototip parçacıkların geçtiği yüzeyde 5cm × 5cm lik 9 ayrı ‘tower’ a bölünmüş ve 408 fiber bir grup ‘bundle’ oluşturacak şekilde PM tüplere bağlanmıştır. Bu detektöre 3 ayrı fiber yerleştirilmiştir. Bu detektörde bölüm 2.3.3 de sözü edilen QQ fiberden 3 km kullanılmıştır. Bu fiber Budapeşte KFKI enstitüsüne yollanmış ve orada ribbon haline getirilmiştir. Bu prototipte aynı zamanda clad kısmı ‘hard polymer’ olan QQ tipe nazaran daha ucuz bir fiber kullanılmıştır. Bu fiber 300 µm kuartz core kısmın üstüne plastik clad kısmı ve kaplama (buffer) kısmı ile dış çapı 345 µm olan bir fiber tipidir. QP (Kuartz Plastic) diye anılacak bu fiber HF kollaborasyonu tarafından kurulacak detektörde QQ tip fiber ile birlikte kullanılması düşünülen diğer fiber tipidir. Ribbon detektörde kullanılan fiberler Tablo 6. da gösterilmiştir.

Tablo 6. ‘Ribbon’ kalorimetre prototipinde kullanılan kuartz fiberler

‘Tower’ sayısı	Fiber tipi	Üretici firma
3	QQ	HESFİBEL (Türkiye)
3	QQ	INFOS (Rusya)
3	QP	Polymicro (ABD)

Bu detektör KFKI (Budapeşte) tarafından CERN’e yollanmış ve prototip detektör Mayıs ve Ağustos 1998 tarihlerinde CERN’de yüksek enerjili elektron ve pion hüzmelerine tutularak performans testleri yapılmıştır.



Şekil 10. 'Ribbon' kalorimetre prototipi



### 2.4.3 PPP (Pre Production Prototype) kalorimetre prototipi

Bölüm 2.1'de kısaca sözü edilen temel emici levha tekniği denilen teknikle yapılan ilk kalorimetre prototipi Rus grubu tarafından Sibirya'daki eski silah fabrikalarından VNIITF'de imal edilmiş ve CERN'e gönderilmiştir. HF detektörünün emici kısmının tamamının bu tasarım ile bu fabrikalarda yapılması düşünülmektedir.

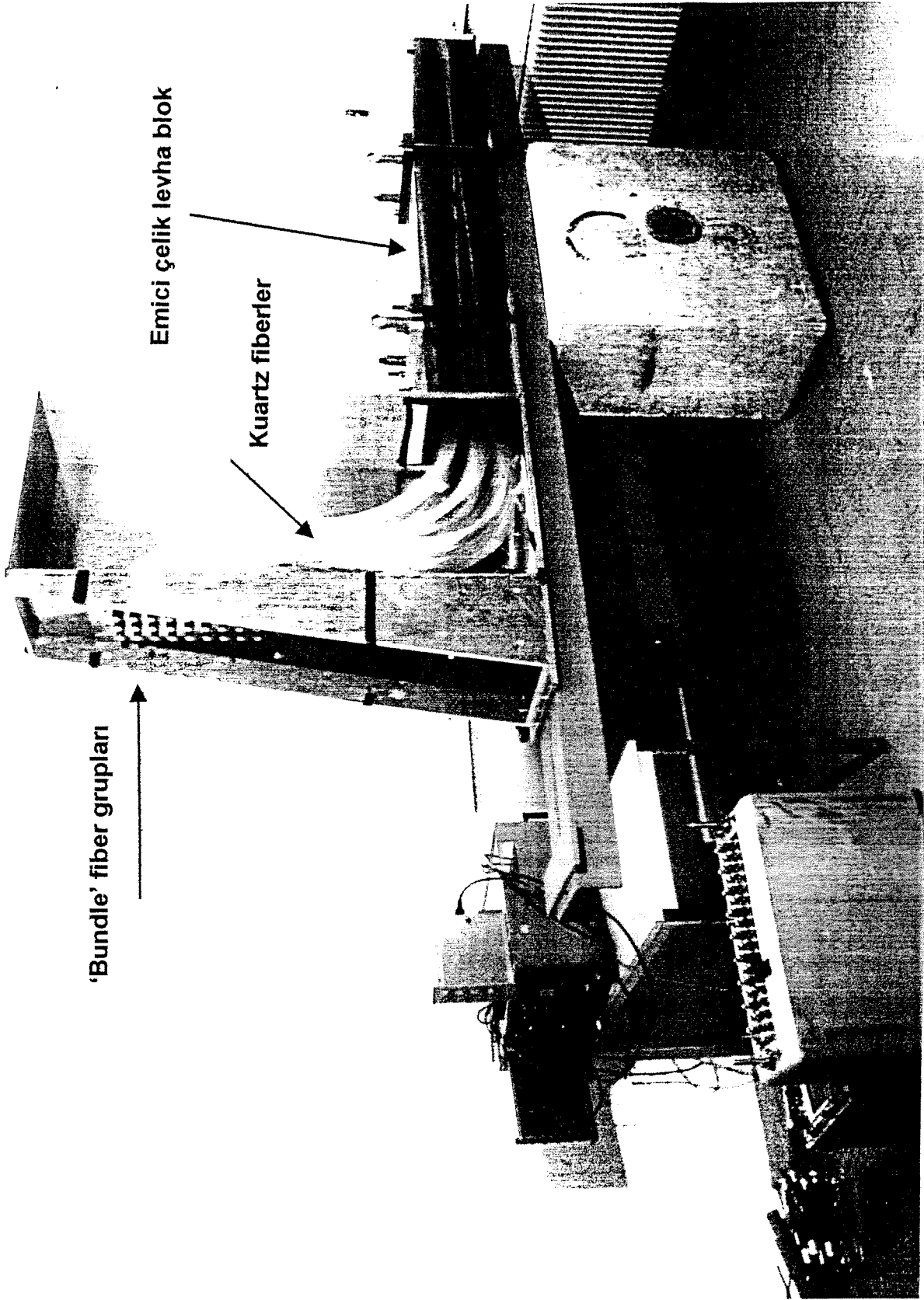
Temel teknikte çelik levhalar 2 ve 3 mm kalınlığında 240 mm eninde ve 1650 mm boyunda çelik levhalardır. 3 mm lik levhaların iki yüzünde fiberlerin girebileceği 0.5 mm boyutunda oyulmuştur. 2 mm düz levhalar 3mm lik oyuk açılmış levhalar arasına yerleştirilmiştir. Kuartz fiberler 300 mikron iç çapta (core) dir. Kaplama malzemeleri (clad ve buffer) ile dış çap 350 mikrona ulaşmaktadır. Bir modül  $240 \times 240 \times 1650$  mm boyutlarındadır. Bir modülün ağırlığı 720 kg dir. Çarpışma noktasının iki tarafına yerleştirilecek HF detektörünün her birisi 120 modülden oluşacaktır. Prototip kalorimetre bir modüldür. Bu prototip çalışmasında temel olarak mekanik olarak kalorimetre modülünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Fiberler  $2.5 \times 2.5$  mm lik 'grid' yapısı içine 3 ayrı boyda 165 cm, 143 cm ve 30 cm yerleştirilmiştir. Bu kısımlar parçacıkların geçişi ile oluşacak elektromanyetik ve hadronik ölçümlere uygunluğu amacı ile tasarlanmıştır. Bu modül prototipte kullanılan fiberler ucuzluğu açısından QP tipte seçilmiştir. Fiberler  $240 \times 240 \times 1650$  mm lik modül içinde 0.5 mm lik oyuklara sokularak detektör tamamlanmıştır. Sözü edilen uzunluklarda 6000 (yaklaşık 15 km) fiber CERN'de oyuklara yerleştirilmiştir. İnsan emeğiyle bu işlem fiber başına yaklaşık 1.5 dakika sürmektedir. Bu kalorimetrede kuartz fiberlerin emici çelik levha malzemesine oranı 0.85% dir. Şekil 11.

Bu prototipte bir yeni uygulamada fiberlerin demetler (bundle) halinde toplanıp ince çelik tüplere yerleştirildiği tekniktir. Demetler 318 ya da 164 fiber bir araya gelecek şekilde gruplanmıştır. Demetin bir ucu bir yapıştırıcı ile biraraya getirilmiş ve bu yüz mikrometren hassasiyetinde cilalanarak ışığın mümkün olduğu kadar saçılmadan düzgün bir şekilde PM tüplere gireceği kısmı oluşturmuştur. Cilalanmış bu kısım 7 ve 5 mm çapındaki çelik tüplerin içine sokulmuştur. Bu uç PM tüpün ışığa duyarlı kısmına

bakacak şekilde deney düzeneğinde yerleştirilmiştir. Fiberlerin diğer uçları serbesttir. Oyuklara yerleştirilen bu uçlardır. Fiberlerin yanında lazer, LED ve radyoaktif kaynak kullanılarak yapılan kalibrasyon sistemleri ile ilgili sistemlerde bu prototip kalorimetreye yerleştirilmiştir. CERN’de bu şekilde tamamlanan prototip Eylül 1999’de performans testleri için yüksek enerjili elektron ve pion hüzmelerine tutulmuştur.

Bu prototipte gerçek uygulamaya bir hazırlık olması nedeni ile HESFİBEL QQ tip fiberler kullanılarak bu demet uygulaması için bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla 7 demet hazırlanmış ve bunlardan iki tanesi prototip içine CERN’de yerleştirilmiştir. Demetler için 4 km’ye yakın fiber kullanılmıştır. Bu uygulamada kullanmadığımız 5 demet daha sonraki test çalışmalarında kullanılacaktır. Bu demetler HESFİBEL ile ortaklaşa olarak HESFİBEL imkanları kullanılarak yapılmıştır ve CERN’e yollanmıştır.

PPP kalorimetre prototipi yukarıda sözü edilen emici levha tekniğinin ve optik kısmında fiber demetlerinin ve fiberlerin göndereceği ışığın PM tüplerde sinyallere dönüştürüldüğü sistemin denendiği bir prototip olmuştur.



Şekil 11. HF-PPP detektörü

## 2.5 DeneYler ve Sonuçları

Bu b3l3mde 2.4'de s3z3 edilen radyasyon hasar prototipi ve ribbon kalorimetre prototipi kullanılarak CERN'de yapılan deneylerden ve 2.4 s3z3 edilmeyen ancak HESFİBEL QQ tip fiberlerinde kullanıldığı tek fiber radyasyon dayanıklılığı deneyleri ve sonuçları anlatılacaktır. Ayrıca HESFİBEL ve benzeri QQ fiberler 3zerinde yapılan geometrik 3l3mler ve kırılganlık 3l3mlerinden s3zedilecektir.

### 2.5.1 Radyasyon hasar prototipi deneyleri ve sonuçları

Bu prototip HF detekt3r3nde kullanılacak kuartz fiberlerin deney s3resince detekt3rde oluşacak radyasyon d3zeylerinde optik 3zelliklerinin bozulmadan kalabileceğini doğrulamak ve parçacık enerjilerinin 3l3mlerinde 3l3m hassasiyetlerinin kabul edilebilir d3zeylerde kaldığını g3sterebilmektir. Bu nedenle prototip y3ksek radyasyon dozu altında tutulduktan 3nce ve sonra 3l3mler yapılmıştır. Radyasyon ortamı yaratmak için prototip CERN LIL hızlandırıcısında 0.5 GeV lik toplam  $1.8 \times 10^{17}$  elektron h3zmesi altında bırakılmıştır. Bu işlem sonucunda detekt3r3n aldığı toplam radyasyon d3zeyi 700 MRad olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.5 GeV lik elektronların bakır içinde birim uzaklıkta kaybettikleri enerji değerini g3z 3n3ne alınarak hesaplanmıştır. Bu radyasyon prototipteki b3t3n fiberlerde eşit olarak dağılmıştır. Bu radyasyon toplamı LHC operasyonu sırasından HF detekt3r3nde yaklaşık 7 yılda toplanacak radyasyon miktarına eşitir. Radyasyonun fiberlerde yaptığı hasar 40 cm derinliğindeki bu prototip derinliğine yapılan 3l3mlerle çalışılmıştır. Prototip CERN'de 80 GeV elektronlar h3zmesine tutulmuştur. Derinliğine her santimetrede bir toplanan sinyal dağılmalarının ortalamaları bu 3l3mleri oluşturur. Sinyaller her bir fiber 3rneğinin bağlı olduğu PM t3plerden gelen analog sinyallerin sayısal değerlere d3n3řt3r3ld3đ3 ADC lerden bilgisayara aktararak okunmuştur. Bu sinyaller kaynağı 80 GeV elektronların emici levhalar içinde oluşturduğu bremmstrahlung ve pair production ile oluşan hızlı parçacıkların, çoğunlukla elektronların, fiberler içinden geçerken oluşturduğu Cherenkov ışımının fiberler içinde taşınarak PM t3plerde elektronlara d3n3řt3đ3 analog sinyallerdir. Cherenkov ışımında

çıkan ışık parçacıkların hızı dolayısı ile enerjisi ile orantılıdır. Kalibre edilmiş detektör ile toplanan sinyaller ile parçacıkların enerji ölçümünü gerçekleştirilir.

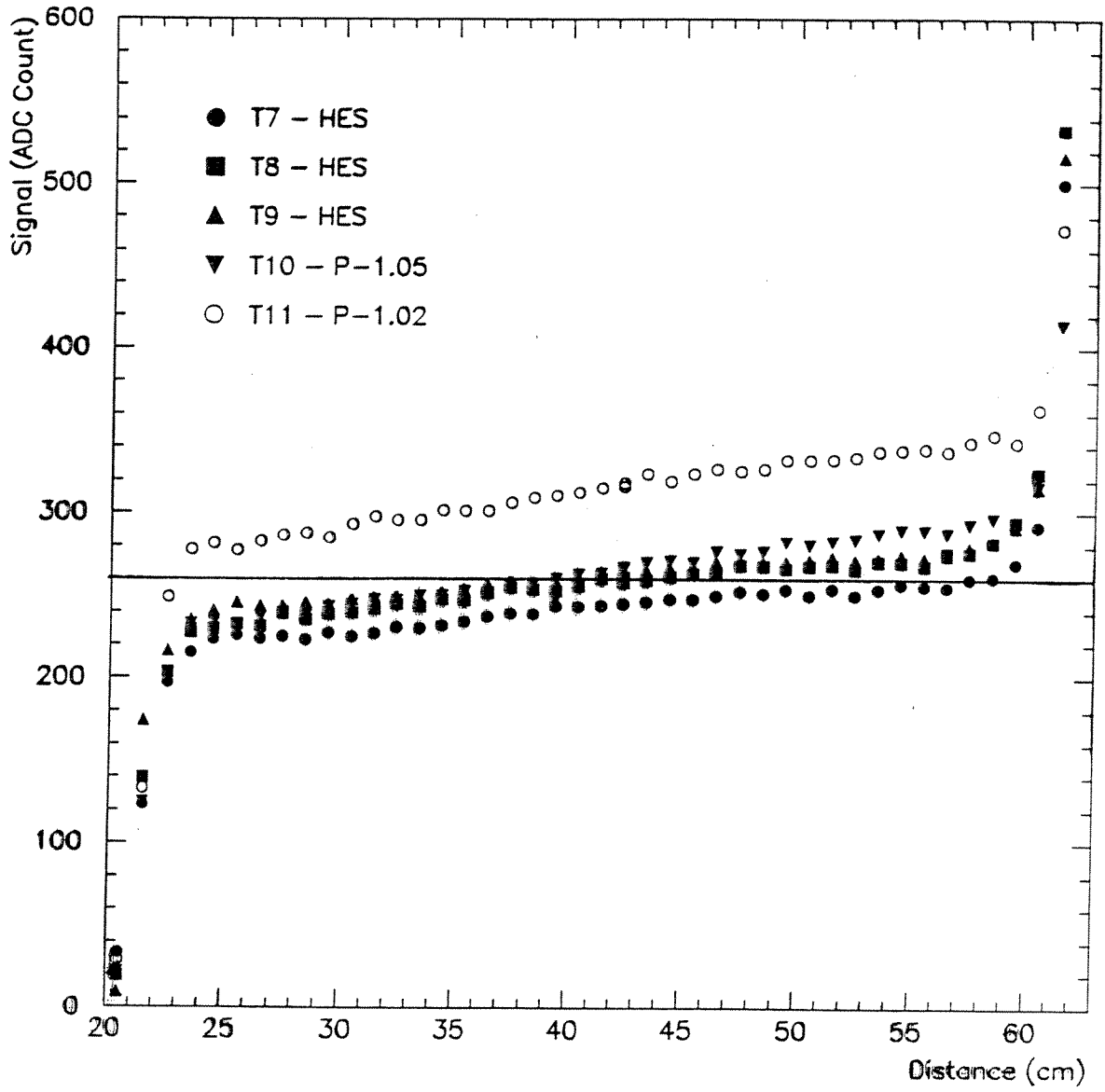
Radyasyon hasar prototipinde radyasyon hasarı yaratması amacı ile yollanan 0.5 GeV lik elektronlar emici bakır levhalar içinde derinliğine yaklaşık ilk 1.5 cm de enerjilerinin (1/e) kadarını kaybederek bremsstrahlung yaparak ışımaya yaparlar daha sonra oluşan bremsstrahlung ve pair production olayları ile bu parçacık yayılması derinliğine devam eder. Yaklaşık ilk 4 cm de ulaşılan en yüksek parçacık ve radyasyon dağılımı yaklaşık 20 cm de biter. Bu 20 cm lik bölüm radyasyon hasarının etkin bölümüdür. Yapılan deneylerde amaç bu hasarın oranını ve QQ fiber tiplerine göre değişimini ölçmektir. Bu nedenle radyasyon hasar işleminden önce ve sonra alınan veriler Şekil 12. ve Şekil 13. de gösterilmiştir. Bu veriler yukarıda sözü edilen 80 GeV elektron hüzmesi altında prototipten değişik fiber gruplarından toplanan ve sayısal hale getirilip bilgisayara aktarılan sinyallerdir. Şekil 12. de HESFİBEL fiberlerinden gelen sinyaller prototipe gelen 80 GeV lik elektron hüzmesi ile aynı boyuna koordinatlarda oluşu nedeni ile Polymicro 1.05 CCDR ve 1.02 CCDR fiberleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil üzerinde çizilen yatay çizgi radyasyon hasarında önce toplanan verilere göre bu fiberler için ortalama sinyal büyüklüğünü göstermektedir. Şekil 12. de içi boş daireler ile gösterilen veriler daha önce sözü edilen Polymicro CCDR 1.02 QQ fibere karşılık gelmektedir. CCDR 1.05 QQ HESFİBEL ve Polymicro fiberleri aynı davranışı göstermektedir. İlk 20 cm de, ki bu bölge radyasyon hasarının olduğu bölgedir, radyasyon hasarından sonra alınan veri radyasyon hasarından önce alınan veriye göre sinyal büyüklüğünde 20-25% oranında bir azalma göstermektedir. Prototipteki diğer fiberlerin karşılaştırıldığı Şekil 13. de CCDR 1.05 QQ Polymicro fiberleri ile INFOS fiberleri karşılaştırılmıştır. Şekil üzerindeki yatay çizgi radyasyon hasarında önce toplanan verilere göre bu fiberler için ortalama sinyal büyüklüğünü göstermektedir. Burada da benzer bir davranış eğilimi görülmekle birlikte, INFOS fiberlerinin bir grubu daha fazla hasar görmüş bir davranış sergilemektedir. Bu iki şekilde ulaşılan sonuç radyasyon etkisinin QQ fiberlerde yayılan ışığın iletiminde bir etkisi olduğudur. Bu analizin sonuçlarına göre sinyal büyüklüklerindeki 20-25% azalma görülmüştür. Bu azalmanın en önemli etkisi şüphesiz enerji ölçüm hassasiyetlerinde kendini gösterecektir. Bununla ilgili yapılan analizde

Tablo 7. de verilen fiberler ile 80 GeV lik elektron hüzmesinin kullanıldığı deneylerde yapılan enerji ölçümlerinde bu hassasiyetler hesaplanmıştır. Her bir fiber grubundan alınan ADC sinyal dağılımı Gauss dağılımı ile karşılaştırılmış ve dağılımlarda radyasyon hasarından sonra alınan verilerde dağılımın daha genişlediği görülmüştür. Bu analiz sonuçlarına göre hassasiyetlerdeki değişim Tablo 7. de verilmiştir.

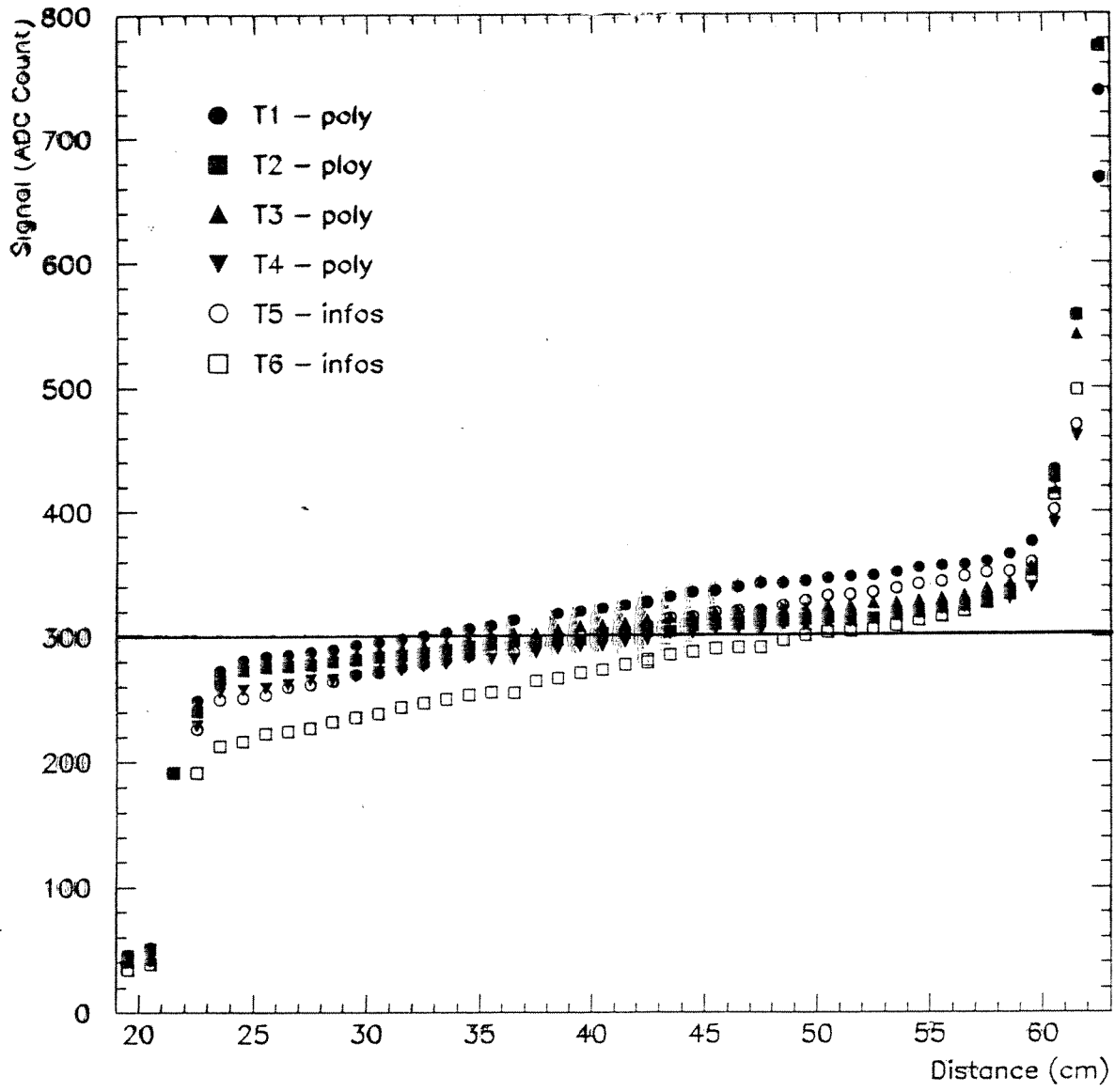
Tablo 7. Radyasyon etkisiyle enerji hassasiyetindeki değişimi

QQ CCDD 1.05 Fiber	Enerji hassasiyetindeki değişim oranı
Polymicro	6-10 %
HESFİBEL	7-9 %
INFOS	9-11 %

Bu tabloda verilen sonuçlara göre radyasyon etkisini dahil ederek tüm fiber tipleri ile benzer şekilde bir hassasiyet ile enerji ölçümleri yapılabilmektedir. Bu analizin sonuçlarına göre LHC operasyonu süresince 700 MRad radyasyon dozundan sonra, yaklaşık 7 sene süre sonrasında, bu tip fiberlerden yapılmış kalorimetrede enerji ölçüm hassasiyetlerinde 10 % lara varan değişimler beklenebilir.



Şekil 12. HESFİBEL ve Polymicro fiberlerinin radyasyon dayanıklılığı



Şekil 13. Polymicro ve INFOS fiberlerinin radyasyon dayanıklılığı



## 2.5.2 Ribbon kalorimetre prototipi deneyleri ve sonuçları

Bu kalorimetre prototipi temel teknik olarak adlandırdığımız tekniğe alternatif olabilecek yapımı daha kolay olan bir modeldir. Emici çelik fiberlerin yüzeyleri fiber grupları ‘ribbon’ şeritler doldurulmuştur. Bu kalorimetrede fiberler gruplar halinde PM tüplere birleştirilmiş ve kalorimetreye gelen yüksek enerjili parçacık hüzmelerinin enerji ölçümleri ve ölçüm hassasiyetleri çalışılmıştır. Burada bu analiz sonuçlarından kalorimetrenin HESFİBEL QQ fiber ‘tower’ larından birisi ile yapılmış ölçümler verilecektir.

Ölçümlerde CERN 450 GeV proton hızlandırıcısından ikincil olarak elde edilen elektron hüzmeleri kullanılmıştır. Dört farklı enerji değeri için bu ölçümler yapılmıştır. Bu deneylerde 10-250 GeV aralığında elektronların elde edilebilmesi mümkün olsa da çok küçük ve çok büyük enerjilerde parçacık hüzmelerinin kompozisyonu çok iyi bilinmemektedir. Bu nedenle 50, 80, 120 ve 150 GeV lik elektron enerjileri kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Tablo 8. de ADC sinyal büyüklüklerinin ortalamaları ve enerjilere normalize edilmiş ortalama ADC sinyal büyüklükleri verilmektedir. Yüksek enerjilerde doğrusallık 3 % hesaplanmıştır.

Tablo 8. Enerji ölçümlerinde doğrusallık

Elektron enerjisi (GeV)	ADC/Enerji
50	1.09
80	1.03
120	0.98
150	0.96

Tablo 9. de ise ADC sinyal dağılımlarının beklenen Gauss dağılımları ile karşılaştırılması ile bulunan dağılım genişlikleri ( $\sigma$ ) enerjilere normalize edilmiş olarak verilmiştir.

Tablo 9. Enerji ölçümlerinde hassasiyet

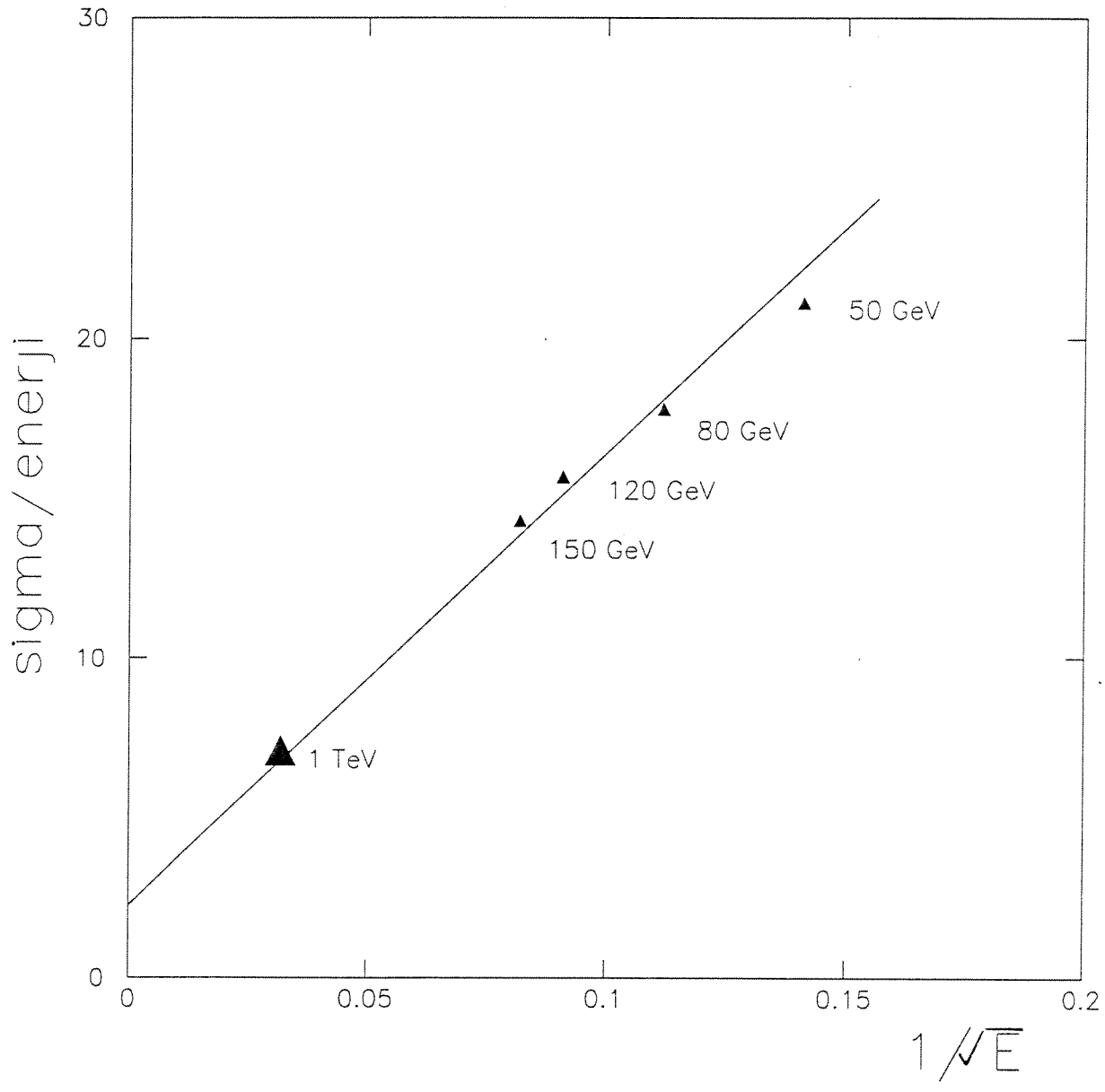
Elektron enerjisi (GeV)	$\sigma$ /Enerji (%)
50	21.1
80	17.8
120	15.7
150	14.3

Kalorimetrelerde ölçülen enerji büyüklükleri kalorimetrede parçacıkların geçişleri ile oluşan parçacık dağılımındaki (particle shower) parçacık sayısı N ile orantılıdır. Oransal hassasiyet Poisson dağılımı esas alındığında,  $\Delta N/N \sim 1/\sqrt{N}$  olur. Enerji hassasiyeti kalorimetrelerde  $E \sim N$  oranından :

$$\Delta E/E \sim 1/\sqrt{E}$$

Burada  $\Delta E$  ADC sinyal dağılımlarında dağılımın genişliği,  $\sigma$  dir. Tablo 9. daki değerler bu formüle göre çizilirse enerji ölçüm hassasiyetinde beklenen doğrusallık elde edilmektedir. Şekil 14. bu dağılımı gösterir. Bu şekilde dağılım beklenen doğrusallığa göre 1 TeV enerjilere uzatılmış, 1 TeV hassasiyet değeri yaklaşık 7 % bulunmuştur. Şekildeki çizgi veriye uygun tahmini doğrusallık çizgisidir. LHC deneylerinde HF kalorimetresinin 1TeV düzeyine ulaşacak parçacıkların, bunlar elektron ya da pion özelliklerinde çeşitli parçacıklar olabilir, enerjilerini ölçebilmektir. Kalorimetrelerde yukarıdaki formül ile açıklanan enerji ölçüm hassasiyeti ile enerjiler arasındaki bağıntıdan ve Tablo 9. da gösterilen ölçümlerden hassasiyetin yüksek enerjilerde iyileşmesi beklenir.

Ribbon kalorimetre ölçümlerinde kullanılan benzer QQ fiberler ile yapılan ölçümlerden alınan sonuçlar yukarıdaki analiz ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 14. Enerji hassasiyeti

### 2.5.3 Tek fiber üzerinde yapılan radyasyon dayanıklılığı ölçümleri

Bu ölçümler CERN’de LIL hızlandırıcısından elde edilen 0.5 GeV lik elektron hüzmelerine tutulan yaklaşık 1 m uzunluğundaki fiberlerin ışık geçirgenlikleri anında gözlenmiştir. Bu çalışma CERN’de HF grubu olanakları ve fiber örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (I. Dumanoglu et. al., 1999). Bu deneylerin yapıldığı düzenek Şekil 15. de gösterilmiştir. Bilgisayar uyumlu hassas spektrometre bölüm 2.3.3 de sözü edilen optik düzenektir. Bu deneylerde Xe lambasının ışığı ikiye ayrılarak, monitor olarak kullanılan kısma ve ölçülecek fibere yollanılır. Ölçülecek fibere yollanılan ışık kayıpsız olarak 600 µm çapında özel bir kuartz fiber ile taşınır. Bu tip bir fiber kablo projemiz kapsamında alınmıştır ve ilerideki ölçümlerimizde kullanılacaktır. 0.5 GeV elektronlar ölçülecek fiber örneğinden geçerken aynı anda spektral ölçümler yapılmış ve fiber içine yollanan ışığın fiberde uğradığı kayıplar ölçülmüştür. Elektronların fiber içinde yarattığı doz yaklaşık 125 MRad/10<sup>16</sup> elektron olarak hesaplanmaktadır. Bu deneylerde yaklaşık 5 × 10<sup>16</sup> düzeyinde elektron akısına ulaşılmış ve 600-700MRad radyasyon altında optik iletkenlik ölçülmüştür. Bu doz LHC uygulamasında yaklaşık 7 yıl süresince HF detektöründe birikecek doze eşdeğerdir. Fiberlerdeki kayıplar daha önce verilen ve dB/m birimindeki formül ile hesaplanır. Xe lamba ile sağlanan ışık 200-700 nm aralığında verimli çalışmaktadır. Fiber içinde iletilen ışığın uğradığı kayıplar bu aralıkta çalışılmıştır. Cherenkov kalorimetre uygulamasında üretilecek radyasyon ve PM tüplerinin hassasiyeti bu spektral bölge arasına düşmektedir.

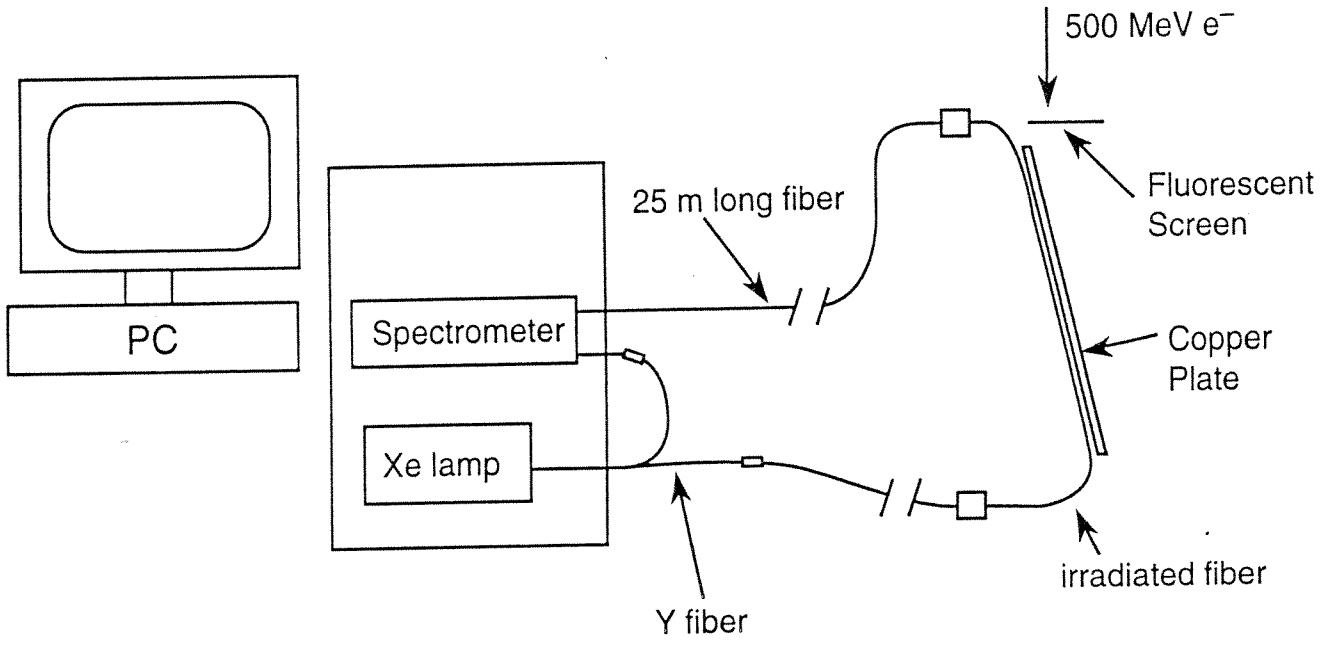
Bu deneylerde iki çeşit ölçüm yapılmıştır :

- a) Kayıp ölçümleri
- b) Yenilenme ölçümleri

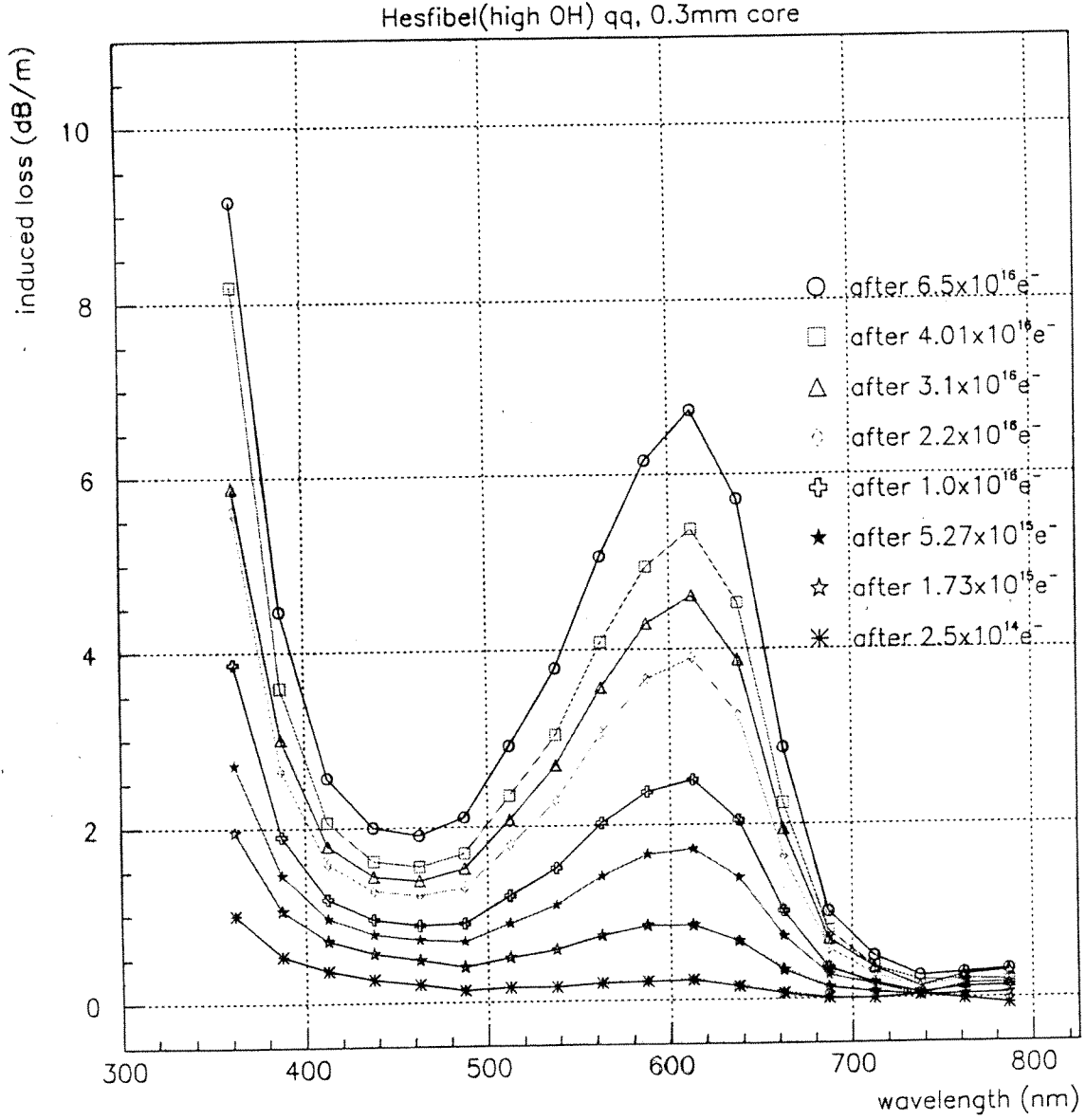
Kayıp ölçümlerinde hassas spektrometre ile yapılan ölçümler Şekil 16., 17., ve 18. de gösterilmiştir. HESFİBEL, INFOS ve Polymicro fiber örnekleri daha önce verilen SSU1.05 QQ fiberlerdir. Bu şekillerde radyasyon nedeni ile kayıp (induced loss), dalgaboyuna (wavelength) göre çizilmiştir. Her bir dağılım farklı radyasyon dozlarında

SSU1.05 QQ fiberlerdir. Bu şekillerde radyasyon nedeni ile kayıp (induced loss), dalgaboyuna (wavelength) göre çizilmiştir. Her bir dağılım farklı radyasyon dozlarında alınan ölçümlerdir. Bu eğrilerde 400-500 nm aralığında tipik bir iniş ve 625 nm çevresinde bir çıkış görülmektedir. Bu davranış yüksek OH fiberlerde (~700 ppm) görülmektedir. Cherenkov kalorimetrenin çalışacağı dalgaboyu aralığı olan 400-500 nm de kayıplar en azdır. Radyasyonun artışı ile orantılı olarak bu kayıplar artmaktadır. Yüksek radyasyon düzeylerinde, özellikle 100 Mrad'ı geçen büyüklüklerde fiber içinde iletilen ışık bu dalga boyu aralığında 40 - 60 % (2 - 3 dB/m) iletilmektedir. Şekil 19. de bu davranış başka bir şekilde gösterilmiştir. Burada HESFİBEL, INFOS ve Polymicro tarafından üretilen QQ fiberlerin kalorimetre uygulamasındaki uygun dalgaboyu aralığında radyasyon altında kayıp eğrileri çizilmiştir. Fiberler benzer davranışlar göstermekle birlikte projemiz kapsamında üretilen fiberde bu deneylerde göreceli olarak daha az kayıp gözlenmiştir.

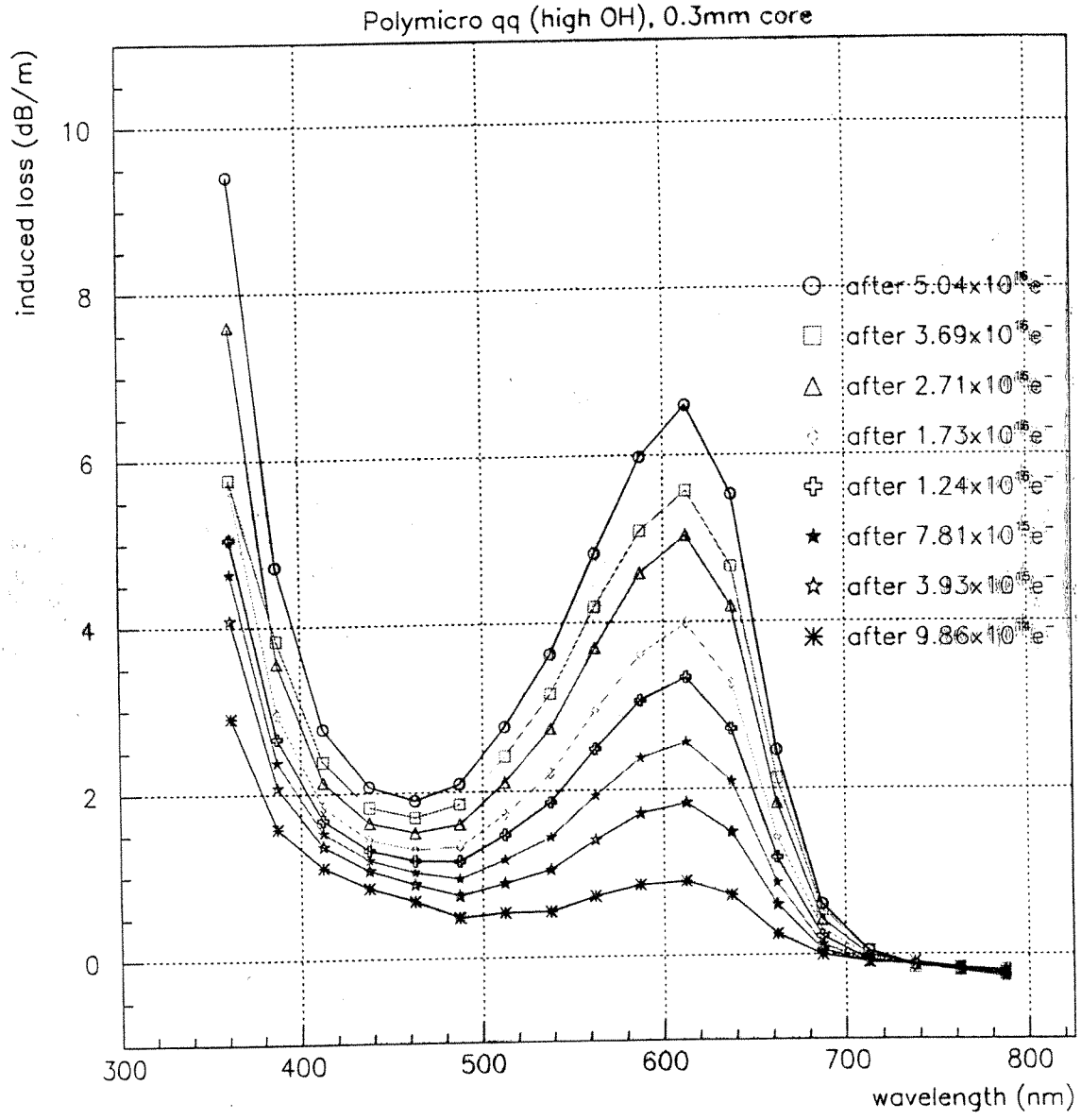
Yenilenme ölçümlerinde fiberlerin yaklaşık 700 MRad dozlara tutulduktan sonra belli süreler hassas spektrometre ile kayıp eğrileri alınmıştır. Şekil 20. ve 21. de HESFİBEL ve Polymicro örnekleri için bu kayıp eğrileri gösterilmektedir. Yaklaşık 24 saat sonunda 400-500 nm dalgaboyu aralığında fiberdeki ışık kayıplarında 1 dB/m lik bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 15. Radyasyon hasar ölçümleri için düzenek

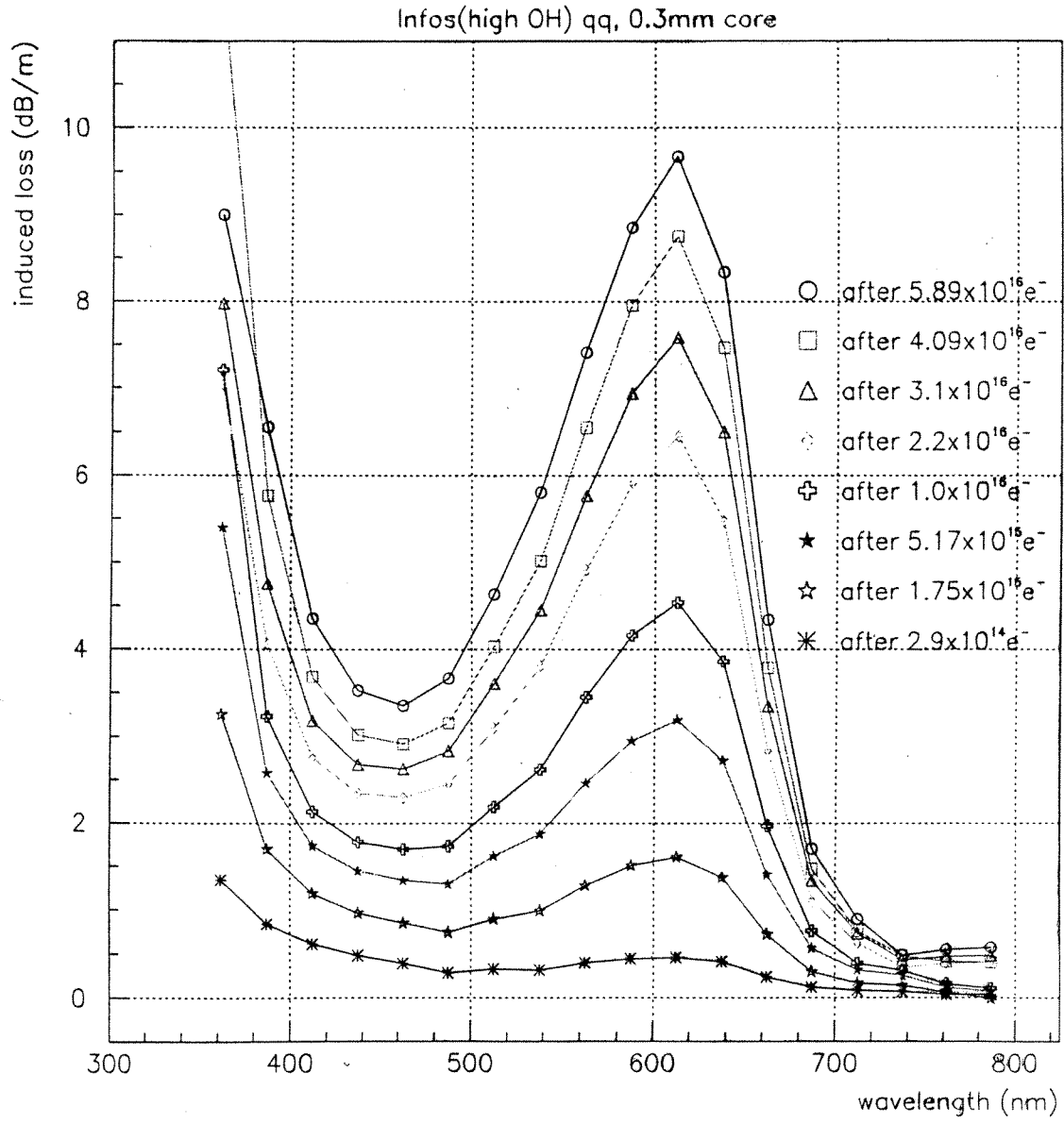


Şekil 16. Radyasyon etkisi altında HESFİBEL kuartz fiber attenuation ölçümü

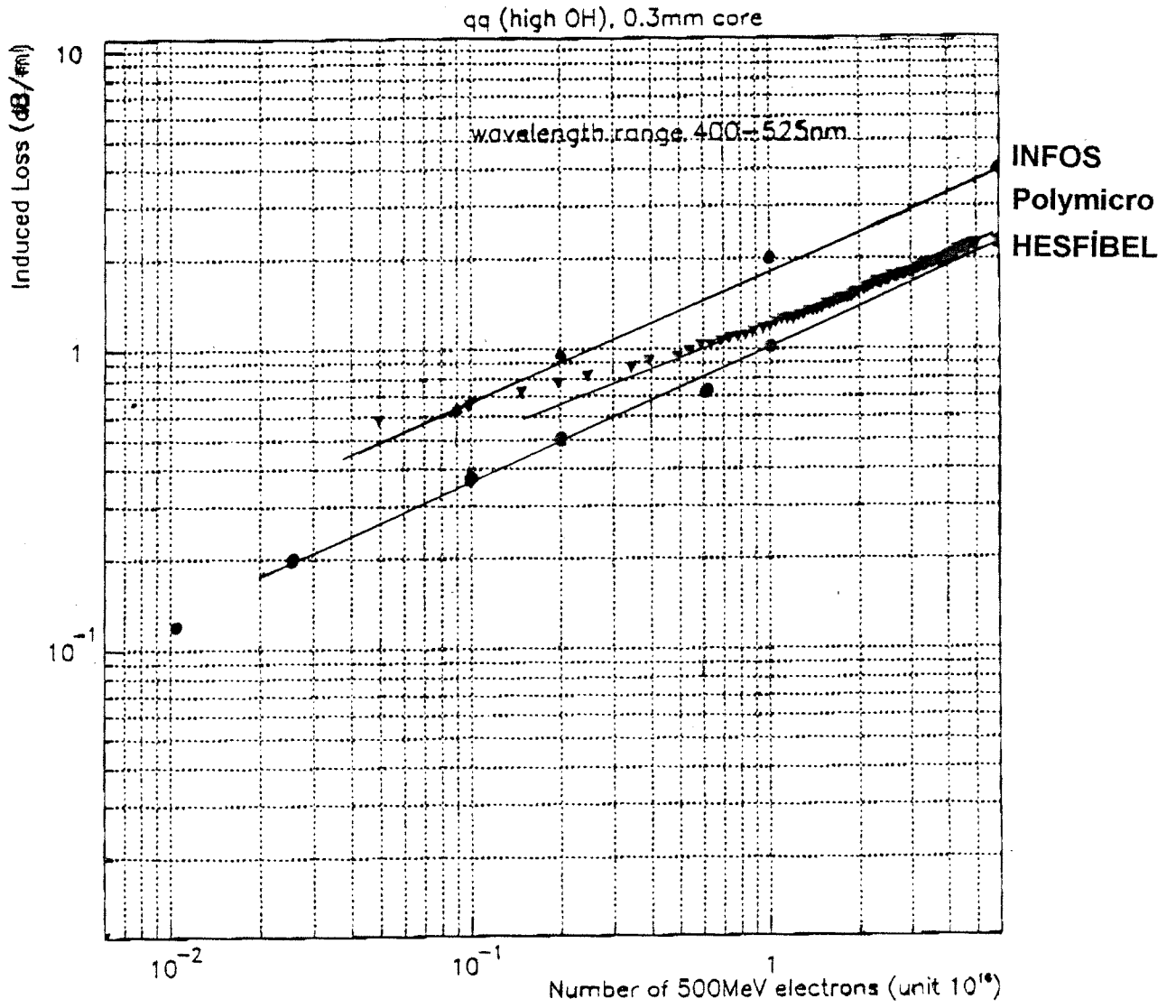


Şekil 17. Radyasyon etkisi altında Polymicro kuartz fiber attenuation ölçümü

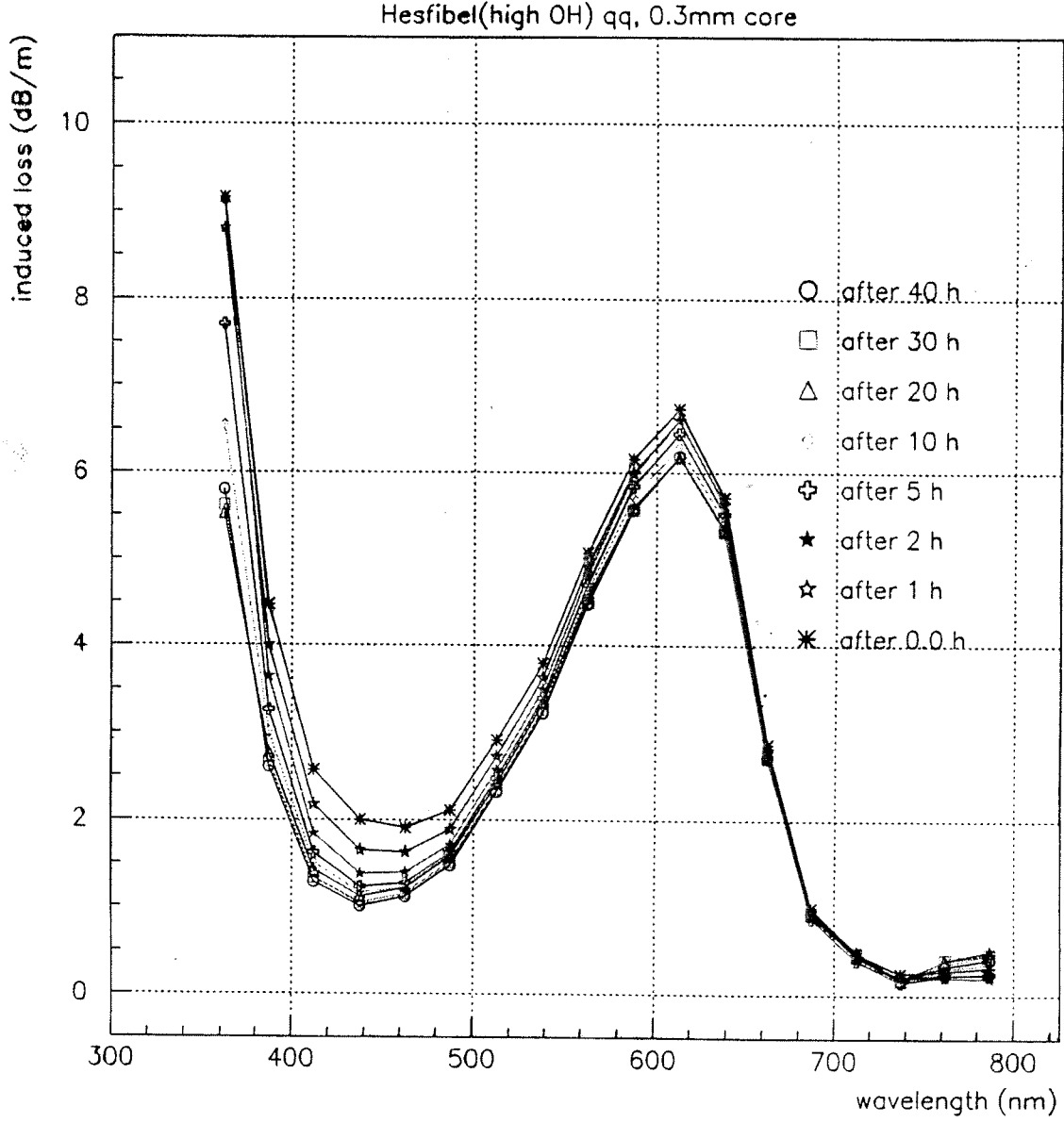




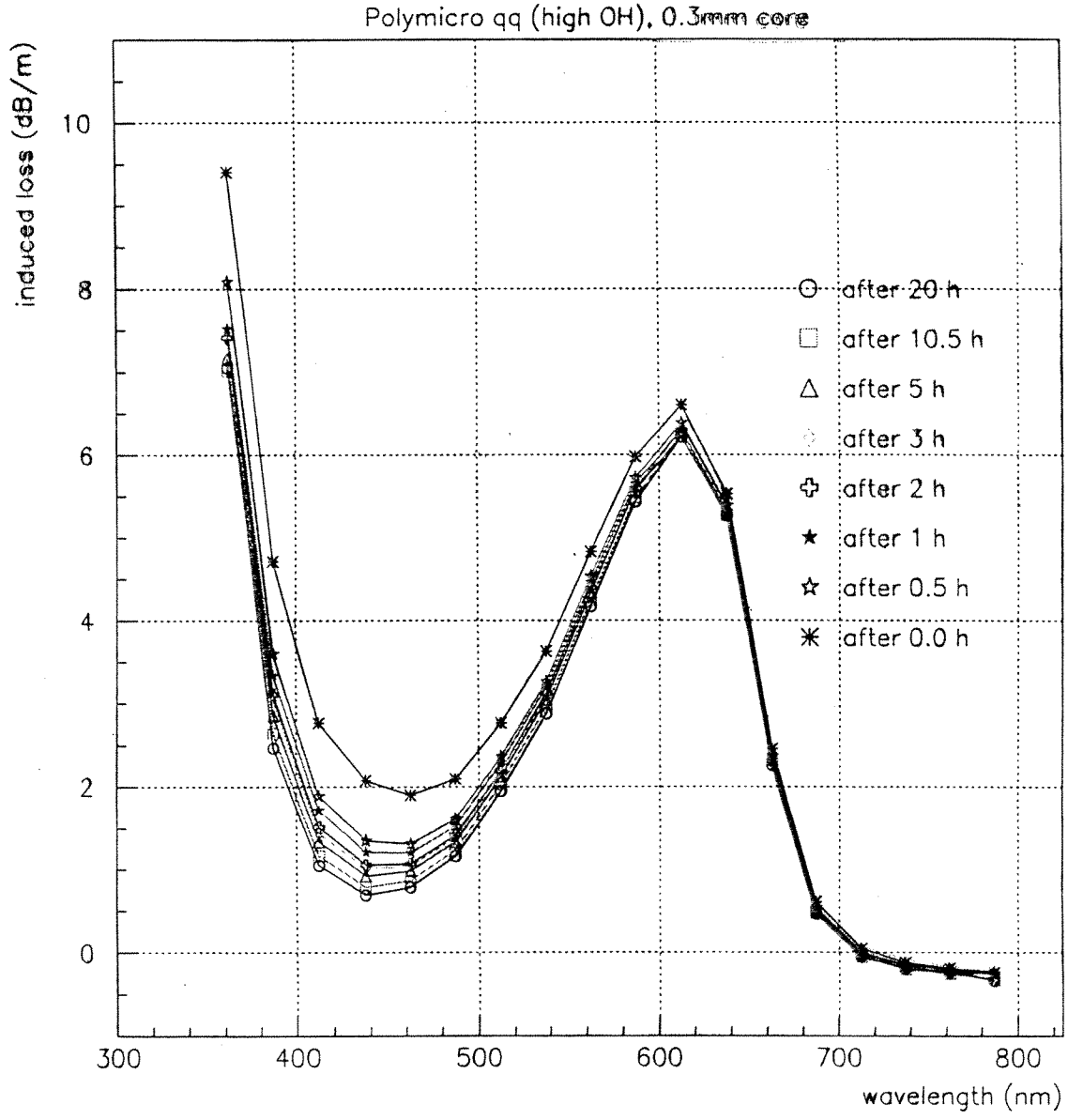
Şekil 18. Radyasyon etkisi altında INFOS kuartz fiber attenuation ölçümü



Şekil 19. HESFİBEL, Polymicro, INFOS kuartz fiberlerin radyasyon dayanıklılığı



Şekil 20. HESFİBEL kuartz fiber yenilenme ölçümü



Şekil 21. Polymicro kuartz fiber yenilenme ölçümü

#### 2.5.4 Boyut ve kırılma ölçümleri

Radyasyon hasar prototipi, ribbon kalorimetre prototipi ve tek fiber radyasyon dayanıklılığı ölçümlerinde kullanılan HESFİBEL, INFOS ve Polymicro QQ fiberlerden alınan örneklerde fabrika üretimlerinden bağımsız olarak fiberlerin core çapı ve kırılma ile ilgili ölçümler de yapılmıştır.

Core çapları kalorimetre uygulamasında ışık üretiminde önemlidir. 300 µm core çapı kalorimetre yapımında temel teknikte demir levhalara oran olarak 0.85 % olarak sapıt tutulmuştur. Core çapının az olması enerji ölçüm ve hassasiyetlerinde olumsuz yönde etki yapmaktadır. Tablo 10. da fiberlerin dış çapı için yapılmış ölçümler verilmiştir

Tablo 10. Kuartz fiberlerin dış çap ölçümleri

QQ Fiber	Fiber dış çapı (µm)
HESFİBEL	343.4
INFOS	336.1
Polymicro	365.0

Fiberlerde kırılma doğaldır, ancak uygulamamızda fiberlerin çelik levhalar yüzeyine yerleştirme ve boşta olan uçların birleştirilerek PM tüplere ulaştırılıp yerleştirme işlemleri sırasında kırılma oranlarının en az olması tercih sebebidir. Tablo 11. de kullanılan fiber örnekleri kullanılarak yapılan kırılma ölçümleri oransal olarak verilmiştir.

Tablo 11. Kuartz fiberlerin kırılma ölçümleri

QQ Fiber	Kırılma (%)
HESFİBEL	0.15
INFOS	0.3
Polymicro	0.1

### III. SONUÇ

TBAG-1591 nolu 'CERN CMS deneyi için En İleri Kalorimetre (Very Forward Calorimeter)' başlıklı proje Türkiye'den, ODTÜ Deneysel Yüksek Enerji Fizik grubunun önerisi ile 1996 yılında katıldığımız CMS deneyi içinde kalorimetre prototipleri araştırma ve geliştirme etkinlikleri ile ilgili olarak önerdiğimiz bir projedir. Bu projenin süresi CMS deneyi kapsamındaki prototip çalışmalarının tahmini bitiş tarihine bağlı olarak kararlaştırılmıştır. Prototip çalışmaları 2000 yılında da sürece ve 2001 yılından başlayarak detektörün malzeme ihaleleri yapıp, detektör inşa edilecek ve CERN'de kurulacaktır. Bu çalışmaların bitiş 2005 yılı ikinci yarısında LHC'nin planlanan çalışma takvimine uyacaktır. Katıldığımız kalorimetre CMS deneyinde hadron kalorimetre (HCAL-Hadron Calorimeter) grubudur, bu grubun bir alt grubu olan ileri kalorimetre grubu (HF-Hadron Forward) CMS deneyi içindeki sorumlu olduğumuz detektör kısmıdır. Bu detektör giriş kısmında açıklandığı gibi CMS deneyinde çarpışma noktasının her iki tarafına yerleştirilecek ve geometrik konumu gereği enerji ölçümlerinde çok küçük açılarda ileriye doğru saçılacak parçacık ve parçacık jetlerine hassas olacaktır. Kuartz fiberlerdeki Cherenkov ışınması esasına göre çalışacak bu kalorimetre, çelik levhalar ve kuartz fiberlerden inşa edilecektir. Parçacıkların gelişi ile oluşacak Cherenkov ışınması PM (PhotoMultiplier) tüplerle okunacaktır. Bu şekilde çarpışmalar sonunda yapılacak enerji ölçümlerinde doğruluk ve hassasiyet önemli ölçüde artacaktır. Bunun standart model ve üstü modellerin öngörülerinin test edilmesinde önemli etkileri olacaktır.

İleri kalorimetre grubu, Amerika, Rusya, Macaristan ve Türk gruplarından oluşmaktadır. Projemiz süresince, prototip çalışmaları sonucunda bu grupların detektör inşaatındaki sorumlulukları belli olmuştur. Projemizin öneri aşamasında bu detektör prototiplerinin bütününde, pasif ve aktif malzeme katkılarında, ve analiz çalışmalarında yer alacağımız önerilmişti. Ancak grubumuzun ilgileri ve CMS ve HCAL yöneticilerinin önerileri ile

konunun önemi ve grubumuza uzun vadede yapacağı katkılar da göz önüne alınarak bu sorumluluk detektörün fiber optik kısmında yoğunlaşmıştır.

Prototip çalışmalarının ilk aşamasında, daha önceki kalorimetre uygulamalarında sıkça kullanılan, bakır levhaların fiberlerin gireceği derinliklerde (0.5 mm) oyulması ve kuartz fiberlerin yerleştirilmesi esası düşünülmekte idi. Oyuk açma tekniği olarak kimyasal eriyon düşünülmüştü. Bu teknik ile grubumuzun katılımından önce yapılan prototipler parçacık hüzmelerinde denenmiştir. Daha sonra HF kollaborasyonun tam teşkili ile gruplar daha ucuz ve kolay teknikler üzerinde çalışmaya başladılar. Bu amaç ile Macaristan KFKI enstitüsü ile ortaklaşa önerdiğimiz 'ribbon' tekniği ile detektör inşaaı bu önerilerden biriydi. Diğer uygulama ilk önerilerden daha ucuz alan bakır levhalar yerine çelik levhaların yüzeylerine mekanik yöntemler ile her bir fibe için oyukların açılacağı temel tekniktir. Prototip çalışmalarının diğer önemli kısmını radyasyon dayanıklılığı çalışmaları oluşturmuştur. Kuartz fiberlerin radyasyon dayanıklılıkları konusunda detaylı çalışmalar yapılmıştır. Prototip çalışmaları sonunda alınan verinin analizi de çalışmalar arasındadır. Prototip detektörler ile ilgili bütün bu çalışmalar kollaborasyona dahil ülke gruplarının ve bu grupların ilişkide oldukları sanayi firmalar ve CERN olanakları ile gerçekleşmiştir.

Projemiz süresince yukarıda açıklanan çalışmalarda projemiz bütçesinden katkıda bulunduğumuz çalışmalar raporun önceki kısımlarında açıklanmıştır. Bu çalışmalar, projemiz başında boyutlardaki hassasiyetin ve bakırın saflığının önemli olduğu bakır levhaların temini ve onların yüzeylerine oyuk açılması denemelerinin yapıldığı çalışmalardır. Bu çalışmalar tek fiber (2mm aralık ile 0.5mm derinliğinde oyuklar) ve 'ribbon' yerleştirmek için santimetre düzeylerindeki genişliklerle oyuk açılma denemeleridir. Üniversitemiz (Fizik ve Makina bölümleri) olanakları ile bu işlemin yapılabileceği ancak uzun plaka boyutlarının, 1 metreden uzun boyutlarda, mevcut aletlere önemli ve pahalı değişiklikler yapılması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar için satın alınan bazı araç ve gereçler Fizik bölümü mekanik atölyesine bırakılmıştır. Bakır plakaların bir kısmı Macaristan KFKI enstitüsüne gönderilmiş ve orada yüzeylere oyuk açılmadan ince bakır teller yerleştirilerek 'ribbon' prototipin yapım teknikleri

çalışılmıştır. Bu aşamada ‘ribbon’ tekniği için emici levhaların işlenmesi, Macaristan KFKI enstitüsü ve temel teknik için emici çelik levhaların işlenmesi sorumluluğu Rusya’da eski bir silah fabrikasına bırakılmıştır. Bu kararda KFKI ve Rus silah fabrikası olanaklarının ağır mekanik aksam ile ilgili altyapılarının daha uygun oluşu yatmaktadır.

‘Ribbon’ kalorimetre prototipi KFKI mekanik atölyelerinde yapılmıştır. Bu kalorimetre CERN’de denemiştir.

Daha sonraki bir aşamada CMS HCAL grubunun verdiği kararlar doğrultusunda raporda sözü edilen temel teknik ile kalorimetrenin yapımı kararlaştırılmıştır. Kalorimetre emici modülün inşası hammadde yanında ileri bir mühendislik çalışması gerektirmektedir. Rus grupları ve eski silah fabrikasının olanakları bu amaçlar ile örtüşebilmektedir. Bu doğrultuda ilk kalorimetre prototip modülü (Pre Production Prototype) Rusyada üretilmiş ve CERN’de denenmiştir. ‘Ribbon’ kalorimetre düşüncesi temel teknik ile ilgili planlarda bir aksama olursa değerlendirmek üzere alternatif tasarım olarak durmaktadır.

Türk grubunun prototip çalışmalarındaki sorumluluğu kuartz fiber üretimi, radyasyon testleri ve prototiplerin CERN’de bir araya getirilip kurulması aşamalarındaki çalışmalar ve prototiplerin parçacık hüzmelerindeki testleri alanlarında sürmüştür. Amerikan grubu prototiplerin elektronik okunmasında sorumludur, bu kısımda PM (PhotoMultiplier) tüplerin seçimi, testleri çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca proje raporunda görüldüğü gibi Rus ve özellikle Amerikalı gruplar ilişkide oldukları firmalar ile bizdeki örneğe benzer olarak kuartz fiber geliştirilmesinde katkıda bulunmuşlardır. Bu firmalar içinde Polymicro firmasının üretimleri geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Bu sorumluluk dağılımı prototip çalışmalarının bitişi ile birlikte, kalorimetre inşasında benzer niteliklerle sürecektir. Türk ve Amerikan grupları kuartz fiber katkısı, Rus grubu çelik plakaların temini, işlenmesi ve fiberlerin yerleştirileceği kalorimetre modüllerinin yapımı, Macar grubu modüllerin CERN’e iletilmesiyle fiberlerin modüllere yerleştirilmesi ile sorumlu olacaklardır. Amerikan grupları önemli bir katkıyı detektörün elektronik aksamını alanında yapacaklardır. Türk grubunun toplam katkısı içinde küçük bir oranda



da elektronik modüllerin temininde olacaktır. Detektörün CERN’de son haline getirilmesi tüm grupların sorumluluğunda gerçekleşecektir.

Emici levhalar üzerinde yapılan çalışmalardan sonra projemizdeki ağırlık kuartz fiber üretiminde olmuştur. Bu amaçla HESFİBEL/Kayseri firması ile yapılan anlaşma ile bu üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen fiber 300/315/345 µm core/clad/buffer çapında iç malzemesi kuartz, kaplama malzemesi flourine karışımı kuartz ve dış ceket (buffer) acrylate dir. Bu fiberden toplam 10km üretilmiştir. Maliyet 2 dolar/metre olmuştur. Özel kuartz fiberin parametreleri, özellikleri grubumuzun çalışmaları ile belirlenmiş ve yine belirlediğimiz preform (kütük) üreten HEREAUS/Almanya firması ile ilişkilerimiz sonunda standart bir ürün olmayan flourine karışımı kuartz preform sağlanmıştır. HESFİBEL’de yapılan üretim çalışmaları ile fiber çekim kulesi şartlarının optimizasyonu sonunda fiber üretilmiştir. Firma tarafında sadece mekanik dayanıklılık testlerinin yapıldığı fiber prototiplerde kullanılmak üzere tarafımıza zamanında teslim edilmiştir. Bu ürün HESFİBEL tarafından Türkiye’de ilk defa üretilen multimode bir optik fiber ürün olması nedeniyle de önem kazanmıştır. Başka uygulanma alanları nedeniyle multimode fiber üretiminde HESFİBEL firması yeni proje önerileri getirmiştir. TÜBİTAK-TİDEB ArGe projesi olarak sürdürülecek bu çalışmalarda HF detektörü için yapılacak büyük üretimde ve başka teknolojik uygulamalarda kullanılacak multimode ve radyasyona dayanıklı fiber üretimleri gerçekleştirilebilecektir.

10 km uzunluğundaki bu kuartz fiber HF grubu içinde diğer fiber örnekleri ile birlikte proje raporunda anlatıldığı şekilde kullanılmıştır. Bu katkılar, Iowa üniversite grubunca yapılan radyasyon hasar prototipi, ‘ribbon’ prototipi, ve temel teknikle yapılan PPP prototipinde olmuştur. Ayrıca tek fiber üzerinde yapılan radyasyon hasar çalışmalarında kullanılmıştır.

Projemizin amacının fiber üretimi ve denemelerine yoğunlaşmasından sonra yapılan prototip üretimleri ve veri alımı çalışmaları yapılmış analiz çalışmaları halen sürmektedir.

Raporun gelişme kısmında verilen ilk sonuçlarda projemiz kapsamında üretilen kuartz fiber performans olarak diğer firmaların örnekleri ile eşdeğer hatta bazı fiber örneklerinden daha üstündür.

'Ribbon' kalorimetre veriler kullanılarak yaptığımız analizlerde enerji ölçüm doğrusalılığı ve hassasiyet ölçümleri gösterilmiştir. Yüksek enerjilerde doğrusalılık 3 % ve enerji hassasiyeti 1 TeV enerjilere yaklaştırılırsa 10% altında olmaktadır.

Radyasyon dayanıklılığı testlerinde, radyasyon hasar prototipi sonuçlarında görüldüğü gibi HESFİBEL fiberin 700 Mrad düzeyindeki elektronların yol açtığı radyasyon hasarı altında Polymicro fiberlerle yapılan karşılaştırmalarda çok benzer bir dayanıklılık gösterdiği görülmüştür.

Tek fiberler üzerinde yapılan ölçümlerde HESFİBEL, Polymicro ve INFOS fiberleri karşılaştırılmış, elektron akısı ile 1 Mrad düzeylerine zorlanan radyasyon hasarı ile fiberlerin optik özellikleri çalışılmıştır. Bu çalışma sonuçlarında 400-500 nm dalgaboylarında yapılan zayıflama ölçümlerinde fiber 'attenuation' ölçümleri 1dB/m altındaki değerlerden 2-3 dB/m ye çıkmaktadır. Bu karşılaştırmalarda HESFİBEL ve Polymicro örnekleri INFOS örneklere göre daha az hasar göstermektedir. Kaplaması flourine içeren ve OH değeri yüksek (700-1000 ppm) kuartz fiber örnekleri radyasyona belirli bir dayanıklılık göstermektedir.

PPP detektörü için HESFİBEL kuartz fiberi fiberlerin gruplanarak 'bundle' haline getirildiği, ve PM tüplere giren yüzeylerinin hassas bir şekilde parlatıldığı çalışmalarda da kullanılmıştır. İki fiber grubu PPP deneylerinde parçacık hüzmelerine tutulmuş, ve veri alınmıştır. HESFİBEL fiber 'bundle' ları 2000 yılında tekrarlanacak bazı deneylerde kullanılacaktır.

Radyasyon çalışmalarına ek olarak projemizde ayrıca nötron akısı altında fiberlerin radyasyon dayanıklılıklarının ölçülmesi için bir çalışma planımız mevcuttur. Bu

çalışmaların Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde yapılması da kararlaştırılmıştır. Bu amaçla bu merkezde ilk denemeler ve mekanik kırılma testleri de yapılmıştır. Optik testleri henüz gerçekleştirilememiştir. Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinden Ağustos 1999 depremi sonunda optik testlerin yapılması için çalışma izni alınamamıştır. Bu çalışmalar merkez yeniden çalışabilirse yapılabilecek aksi halde kollaborasyon içerisinde mevcut merkezlerde yapılması denenecektir. Bu testleri gerçekleştirmek için düzenek hazırdır. Bu düzenek raporda sözü edilen ODTÜ AFP desteğiyle aldığımız hassas spektrometre, ışığın kayıpsız taşınabileceği özel quartz kablo ve denecek fiber örneklerinden oluşmaktadır. Özel quartz kablo projemiz katkısı ile sağlanmıştır.

Projemiz süresince 1 doktora öğrencisi, 1 yüksek lisans öğrencisi raporda sözü edilen çalışmalara aktif katılmışlardır. Bu öğrenciler şu anda doktora çalışmalarını CMS projesi kapsamında Amerikada sürdürmektedirler. Ayrıca üç ODTÜ fizik bölümü 4. Sınıf öğrencisi bitirme projelerini projemiz kapsamında üretilen fiberin optik özelliklerinin denendiği küçük deneylerde yapmışlardır. Halen ODTÜ’de 1 doktora ve 2 yüksek lisans öğrencisi ‘İleri Kalorimetre’ nin ölçümlerde önem kazanacağı Higgs üretimi ve bozunumu olayları üzerinde simülasyon çalışmaları yapmaktadır.

TÜBİTAK desteğiyle bu proje kapsamında yapılan çalışmalar ile ülkemizde gerçekleştirilen özel quartz fiber üretimi ve denemeleri sonunda yüksek enerji fiziği deneylerine bir yeni bir teknolojik ürün ile katılmış oluyoruz. Bu çalışma ve katkı şekli bu dalda ülkemizdeki ilk örneklerden biridir. Üniversite-Sanayi ilişkisine bağlı yürütülen bu çalışma sonunda CMS deneyinde detektöre ve dolayısı ile ileride yapılacak fizik çalışmalara katılımımız gerçekleşebilecektir. Ayrıca bu yeni teknolojik ürün iletişim ve benzeri alanlarda Türkiye’de ihtiyacı duyulan yeni ürünlerin üretilmesi için bir çıkış noktası olacaktır. Türkiye’nin CMS deneyine katkısı bu üretilen örnek ürün göze alınarak quartz fiber alanında olacaktır. Bu amaçla bu proje ile başladığımız çalışmalar fiber üretici firma ile değişik ve daha ucuz kaplama malzemeleri kullanılan quartz fiberler, daha kalın quartz fiberler konularındaki gelişen ARGE çalışmaları olacaktır. Bu konularda TÜBİTAK’ın süregelen desteğine de teşekkür ederiz.

Bu projenin yürütülmesinde katkısı olan öğrenciler ve proje elemanlarına, HESFİBEL firması yönetici ve mühendislerine ve gerçekleşen bu çalışmalara değerli katkıları için proje yöneticisi olarak TÜBİTAK üst yönetimine ve TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Grubuna teşekkürlerimi sunarım.

#### IV. KAYNAKLAR

1. CMS Collaboration, 'CMS, The Compact Muon Solenoid', CERN/LHCC 94-38, LHCC/P1, 15 December 1994, Technical Proposal.
2. CMS Collaboration, 'The Hadron Calorimeter Project', CERN/LHCC 97-31, CMS TDR 2, 20 June 1997, Technical Design Report.
3. N. Akchurin et. al., 'Beam test results from a fine-sampling quartz calorimeter for electron, photon and hadron detection', Nucl. Instrum. and Methods. A399 (1997) 202-226.  
N. Akchurin et. al., 'Test beam of a quartz fiber calorimeter prototype with a passive front section', Nucl. Instrum. and Methods. A400 (1997) 267-278.  
N. Akchurin et. al., 'On the difference between high energy proton and pion showers and their signals in a non-compensating calorimeter', Nucl. Instrum. and Methods. A408 (1998) 380-396.
4. P. Gorodetzky et. al., 'Quartz fiber calorimetry', Nucl. Instrum. and Methods. A361 (1995) 161-179.
5. I. Dumanoğlu et. al., 'Darkening of quartz fibers irradiated by 500 MeV electrons at CERN', CERN CMS Note-1999/043.

## BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU

1- Proje No: TBAG-1591

2- Rapor Tarihi: 3.9.97, 3.3.98  
3.9.98, 3.3.99

3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 3.3.97-2.9.99

4- Projenin Adı:  
CERN CMS deneyi için en ileri kalorimetre5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Doç.Dr. Mehmet T. Zeyrek  
Prof.Dr. Perihan Tolun, Prof.Dr. Ramazan Sever, Doç.Dr. Meltem Serin-Zeyrek  
Dr. Erhan Pesen, Ahmet Sedat Ayan, Uğur Akgün, Murat Güler6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:  
ODTÜ Fizik Bölümü 06531 ANKARA7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:  
TÜBİTAK, ODTÜ, Çukurova Üniversitesi, CERN, University of Iowa, KFKI, Budapest

8- Öz (Abstract):  
CERN (Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı)'de kurulmakta olan büyük hadron çarpıştırıcısı LHC'de, 2004 yılında çalışmaya başlayacak CMS (Compact Muon Solenoid) deneyinde ileri kalorimetre (Forward Calorimeter) Cherenkov ışınması esasına göre çalışacak ve yüksek enerjili parçacıkların enerji ve yön ölçümlerinde kullanılacaktır. Türkiye'den TÜBİTAK desteğiyle tüm üye hakları ile katıldığımız CMS deneyinde ileri kalorimetre detektörünün yapımında Amerika, Rusya ve Macaristan grupları ile ortak olarak sorumluluk taşımaktayız. TÜBİTAK TBAG-1591 nolu proje ile desteklenen bu çalışmada ileri kalorimetrede aktif malzeme olarak kullanılacak kuartz optik fiberlerin üretilmesi ve denemesi çalışmaları yapılmıştır. Kuartz fiber üretimi bu proje kapsamında ODTÜ-HESFİBEL/Kayseri işbirliğiyle Türkiye'de ilk defa gerçekleştirilmiş bir üretilmiştir. Üretilen fiberlerin özü (core) saf silika, 300 µm çapındadır. Kaplama malzemeleri ile bu çap 345 µm dur. İç kaplama (cladding) malzemesi flourine katkılı silika ve dış koruma (buffer) malzemesi acrylate dir. Bu fiber tipi MRad düzeylerindeki yüksek radyasyon dozlarına dayanıklıdır. Projemiz kapsamında üretilen fiberler CERN'de çeşitli kalorimetre prototiplerinde ve diğer testlerde benzer teknik özelliklerdeki diğer kuartz fiberler ile birlikte denenmiş, ve radyasyon dayanıklılığı, optik ve mekanik özellikler bakımından CMS deneyinde çalışacak ileri kalorimetrede aktif malzeme olarak kullanılabilceği gösterilmiştir. Bu çalışmanın yürütülmesi ve deneyler TÜBİTAK desteğinin yanında ODTÜ, HESFİBEL fabrikası ve CMS deneyi ileri kalorimetre kollaborasyonuna dahil ülkeler ile ve CERN laboratuvarının katkıları gerçekleşmiştir. Uluslararası büyük bir kollaborasyon ortaklığı içinde üniversite-sanayi araştırma ve geliştirme projesi ile gerçekleştirilen bu çalışma deneysel yüksek enerji deneylerine katkıda ülkemizde ulaşılan yeni bir aşamadır.

Anahtar Kelimeler: CERN, LHC, CMS deneyi, kalorimetre, kuartz fiber, radyasyon dayanıklılığı.

9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler

NIM A 399 (1997) 202-226, NIM A 400 (1997) 267-278  
CERN CMS NOTE 1998/056, CERN CMS NOTE 1999/04310- Bilim Dalı: Yüksek Enerji Fiziği  
Doçentlik B. Dalı Kodu: 404.02.01  
Uzmanlık Alanı Kodu:

ISIC Kodu:

11- Dağıtım (\*):  Sınırlı Sınırsız

12- Raporun Gizlilik Durumu :

 Gizli Gizli Değil

(\*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: TBAG-1591	2- Rapor Tarihi: 3.9.97, 3.3.98 3.9.98, 3.3.99
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 3.3.97-2.9.99	
4- Projenin Adı: Very Forward Calorimeter for the CERN CMS experiment	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Doç.Dr. Mehmet T. Zeyrek Prof.Dr. Perihan Tolun, Prof.Dr. Ramazan Sever, Doç.Dr. Meltem Serin-Zeyrek Dr. Erhan Pesen, Ahmet Sedat Ayan, Uğur Akgün, Murat Güler	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: METU Physics Department 06531 ANKARA	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TUBITAK, METU, Çukurova University, CERN, University of Iowa, KFKI, Budapest	
8- Öz (Abstract):  <p>At Large Hadron Collider (LHC) at CERN (European Laboratory for Particle Physics), CMS (Compact Muon Solenoid) experiment is scheduled to start data taking in 2004. In CMS experiment forward calorimeter is based on Cherenkov radiation and will be used to measure the energy and the direction of high energy particles that scatters in the forward direction. Turkey, has joined the CMS collaboration with all its membership rights with TUBITAK support and is responsible in the construction of the forward calorimeter together with other collaborating institutes from United States of America, Russia and Hungary. In this project, the production of quartz optical fibers and performance tests has been achieved. This research work is financially supported through the project TUBITAK TBAG-1591. Quartz fibers are the active materials of the forward calorimeters. The fiber production has been done in HESFIBEL/Kayseri with close collaboration of METU experimental high energy physics group. This special optical fiber production is the first of its kind in Turkey. Quartz fibers have 300 µm core diameter. The diameter enlarged to 345 µm with flourine doped quartz cladding and the acrylate buffer. Quartz fibers are radiation resistant up to MRad radiation levels. The fibers produced in this project has been used in several calorimeter prototypes and other tests together with the other quartz fiber samples at CERN. After the tests, the radiation hardness, optical and mechanical properties of Turkish quartz fibers has been shown to be compatible with the other samples and can be used as an active material of the forward calorimeter in CMS experiment. Together with TUBITAK support this research work has also been supported by METU, HESFIBEL factory and other collaborating institutes in the CMS forward calorimeter collaboration and CERN. This work is a good example of contributing to international high energy physics experiment through university and industry reseach and development project.</p> <p><b>Keywords :</b> CERN, LHC, CMS experiment, calorimeter, quartz fiber, radiation hardness</p>	
Anahtar Kelimeler:	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler NIM A 399 (1997) 202-226, NIM A 400 (1997) 267-278 CERN CMS NOTE 1998/056, CERN CMS NOTE 1999/043	
10- Bilim Dalı: High Energy Physics Doçentlik B. Dalı Kodu: 404.02.01 Uzmanlık Alanı Kodu: ISIC Kodu:	
11- Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input checked="" type="checkbox"/> Sınırsız	
12- Raporun Gizlilik Durumu : <input type="checkbox"/> Gizli <input checked="" type="checkbox"/> Gizli Değil	

(\*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz