

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ KOORDİNE EDİLENLER

Proje Türü : Ö rrenci Odaklı Proje (ÖOP)
Proje No : 15Ö0443007
Proje Yöneticisi : Doç. Dr. sa Navruz
Proje Ba lı lı : Fiberoptik Jireskop Tasarımı ve Gerçekle tirilmesi

Yukarıda bilgileri yazılı olan projemin sonuç raporunun e-kütüphanede yayınlanmasını;

ST YORUM

STEM YORUM GEREKÇES

..... / / 20
Doç. Dr. sa Navruz

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU**

Fiberoptik Jireskop Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Doç. Dr. Mustafa Navruz

Öğrenci Kaan Yücel Öğrenci Fatma Kübra Çetinkaya

1500443007

30.12.2015 - 30.06.2016

27.09.2016

Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Ankara - 2016

I. Projenin Türkçe ve İngilizce Adı ve Özetleri**Türkçe Adı** : Fiberoptik Jireskop Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi**İngilizce Adı** : Design and Realization of Optical Fiber Gyroscope

Jiroskoplar, açısal dengenin korunması ilkesiyle çalı an aynı zamanda yön ölçümü veya ayarlanmasında kullanılan mekanik cihazlardır. Kara, hava, deniz ve uzay araçları navigasyon sistemlerinin açısal hareket algılanmasında jiroskoplardan faydalanılır. Di er hareket algılayıcılarına göre, hareketsiz bir zeminden referans almadan dönmeyi hassas bir ekilde ölçebilmesi, jiroskopların en dikkat çekici özelli idir.

Optoelektronik teknolojilerin geli mesi paralelinde son yıllarda fiber-optik jiroskoplara olan ilgi artarak devam etmektedir. Askeri veya uzay ta ıtlarında kritik bir aygıt olarak kar ımıza çıkan fiber-optik jiroskopların, bugünlerde ticari bir ürün olarak pek çok sektörde pazarı hızla büyümeye devam etti ini görmekteyiz. Henüz ülkemizde bu alanda yerli bir ticari ürün bulunmamasının yanı sıra fiberoptik jiroskoplar konusunda yapılan akademik çalı malar da oldukça sınırlıdır.

Üniversitemiz BAP koordinatörlü ü ile desteklenen bu projede, dönmeyi hassas olarak ölçebilen, dü ük maliyetli bir fiberoptik jiroskopun tasarımı ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef ı ında, önce açık çevirim prensibi ile kurgulanan fiberoptik jiroskopun teorik modeli elde edilmiş ve bu modelin do rulu u Matlab yazılımı ile yapılan simülasyonlarla test edilmiştir.

DeneySEL çalı malar, üniversitemiz Elektrik Elektronik Mühendisli i Optoelektronik Laboratuvarında yürütülmü tür. Bu a amada, önce mekanik bir döner platform gerçekleştirilmiş ve bu platformun dönme hızı, elektro-optik bir teknik olan optik-delikli disk düzene i ölçülmü tür. Dönme hızının en iyi hassasiyette algılanması için, delikli diskin platform ile mekanik bağlantısı iki a amalı bir redüktör di li sistemi ile sağlanmıştır. Döner platform titre şimsiz optik masanın üzerine sabitlendikten sonra, fiberoptik jiroskop düzene i bu döner platformunun üzerine kurulmu tur. Olu turulan sistemin dönme hızı hem optik-delikli disk düzene i hem de fiberoptik jiroskop düzene i üzerinden e zamanlı ölçmek için sistemde kullanılan elektronik donanımlar Labview yazılımı ili kilendirilmiş ve alınan elektriksel i aretler 1.2Mb/s hızında sayısal i arete dönü türülerek analiz edilmiştir.

Proje boyunca yapılan tüm teorik, donanımsal ve deneysel çalı malar, proje ekibine fiberoptik jiroskopun tasarımından üretime ve testine kadar önemli bilgi, bulgu ve deneyimler kazandırmıştır. Fiberoptik jiroskop sistemi ba arıyla kurgulanmış ve çalı tırılmıştır. Jiroskop tasarımında yapılan simülasyon sonuçları ile deneysel elde edilen veriler büyük ölçüde tutarlılık göstermiştir. Jiroskopun dönme hızı testlerinde 0.00219 radyan/saniye ölçüm hassasiyetine ve 0-0.6 radyan/saniye ölçüm aralı ında ula ılmıştır. Yapılan tüm teorik ve deneysel çalı malar ile fiberoptik jiroskopların geli tirilmesi için yeni ba latılacak lisansüstü ara tırma çalı malara iyi bir zemin hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiberoptik Jiroskop, Sagnac, Rota, Faz, Faz Modülasyonu, Yön Bulma, Hız, vme, vmeölçer

Abstract

Gyroscopes work according to the conservation of angular momentum and they are generally mechanical devices that are used for measuring and adjusting the direction. They can be used for sensing the angular movement in navigation systems of air, land, sea and space vehicles. The most attractive feature of gyroscopes with respect to other sensors is the ability of measuring rotation movement precisely without referencing any non-moving ground.

In parallel to the development of optoelectronic technologies, the interest to fiber optic gyroscopes increases in recent years. Nowadays, fiber optic gyroscope which is a critical device in military and space vehicles has an increasing market share in

many sectors as a commercial product. There is no home product fiber optic gyroscope in our country yet. Besides, the academic studies on this area are very limited. In our project founded by BAP unit of our university, it is aimed to design and realize a low cost fiber optic gyroscope that can precisely measure rotation movement. In order to reach our goal, firstly, the theoretical model of the open loop fiber optic gyroscope is obtained and then the accuracy of the model is tested by simulations run in MATLAB. The experimental studies are carried out in Optoelectronics Laboratory in Electrical and Electronics Engineering Department of our university. A mechanical rotating platform is constructed before the experimental studies and then the rotating velocity of the platform is measured by encoder disc module which is an electro-optical technique. To sense the rotation velocity more accurately the mechanical connection of encoder disc module to the platform is provided by a two-stage reducer gear system. After the rotating platform is fixed to the vibration-free optical table, fiber optic gyroscope set up is constructed on this rotating platform. For measuring the rotating velocity of the constructed system by both the optical encoder disc module and the gyroscope set up simultaneously, the electronic hardware of the system is related to Labview software and the obtained electrical signals are analyzed by converting to digital signals with a rate of 1.2 Mb/s.

By the help of the theoretical, design and experimental studies carried out during the project, the project team gained important findings, information and experience on designing, producing and testing the fiber optic gyroscopes. The fiber optic gyroscope system is built and run successfully. The simulation results of the designed gyroscope and the experimental data have shown consistency greatly. A measurement precision of 0.00219 radian/second and a measuring range of 0-0.6 radian/second are achieved in gyroscope rotation tests. All of the theoretical and experimental studies in this project prepared a good background to new graduate research studies.

Key Words: Fiber optic gyroscope, Sagnac, Route, Phase, Phase modulation, direction finding (navigation), velocity, acceleration, accelerometer.

II. Amaç ve Kapsam

Fiber optik jiroskopun çalışması temelini oluşturan Sagnac etkisi, zıt yönlerde hareket eden iki ışın demeti arasında meydana gelen faz kaymasıdır. Bu faz kaymasını okumak için lazer interferometre kullanılması fikri, lazerin keşfinden ve uygulamaya girmesinden çok daha erken bir zamanda atılmıştır. Fakat bu konudaki ilk hamleler rağmen, gerçekten bu alanda çalışılan bir cihaz geliştirilmesi oldukça yavaş olmuştur. Geliştirilen ilk laboratuvar prototiplerinde hem teknolojik hem de kavramsal bazı engeller söz konusu olmuştur. Sagnac faz kaymasını ile dönme algılanabilmesi ancak dönme açılarını algılayabilecek hassasiyette ulaşılabilir değildir. 1970'li yıllarda fiber-optik kabloların ortaya çıkması ile jiroskoplarda optik fiberlerin kullanılabilirliği düşününcesinin ardından bu alanda çalışmaların seyri değişmiştir.

Optik fiberler, yaygınca bilgi sinyalini uzak mesafelere taşımak için geliştirilen ve bugün dünya üzerinde kurulu neredeyse tüm haberleşme sistemlerinde bilgi taşıma işlevini üstlenen kablolardır. Fiber optik kablolarda bilgi elektrik sinyali yerine ışıkla taşınır. Yüksek hızlara bilgi taşıyabilme, düşük sinyal zayıflaması, elektromanyetik etkilerden izolasyon ve hafiflik optik fiberlerin en önemli avantajlarıdır.

Optik fiberler kullanılarak jiroskop üretimi üzerine yapılan çalışmalarda son yıllarda artarak devam eden bir ilgi görülmektedir. Hareketli sistemlerde dönmeyi ölçmek için kullanılacak fiberoptik jiroskopların yüksek doğrulukta ölçebilme kabiliyetine sahip olması ve aynı zamanda hafif, düşük maliyetli ve küçük boyutlarda üretilebilmesi bu tür jiroskopların tercih edilmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Yakın bir gelecekte, pek çok kara deniz hava ve uzay taşıtımlarında kritik bir aygıt olan mekanik jiroskopların yerine fiberoptik jiroskopların kullanılacağını tahmin etmek zor olmayacaktır. Bu projede, hareketsiz zeminden herhangi bir referans almadan açısal dönmeyi hassas bir şekilde ölçebilmek için bir fiberoptik jiroskop sisteminin tasarımı ve laboratuvar ortamında üretilmesi amaçlanmıştır. Nihai bu amaç kapsamında, alt amaçlar ve bu amaçlarla ilişkili paketlerinin kapsamı sırasıyla şunlardır:

1. Fiberoptik jiroskopun çalışması sisteminin iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında titiz bir literatür taraması yapılmış ve teorik analizler yapılarak bilgisayar ortamında Matlab yazılımı ile fiberoptik jiroskopun simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sistemin açısal dönme hızı, jiroskop düzeneğindeki makarada sarı fiber uzunluğu, makara çapı gibi parametrelerin sistem performansına etkileri araştırılmıştır. Ayrıca jiroskop tasarımı ve analizi için hızlı ve etkin bir yazılımsal simülasyon zemini hazırlanmıştır.
2. Proje bütçesi de dikkate alınarak düşük maliyetli ve daha az ekipmanlı bir fiberoptik jiroskop üretimi için açık çevrim prensibi üzerine kurulu jiroskop tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, tasarımda kullanılacak donanımlar titizlikle seçilmiş, bazı kritik bileşenlerin temini için pahalı hazır donanımlar satın almak yerine pratik çözümler üretilmiştir.
3. Sistemin döndürüleceği bir döner platformun oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, bölümümüz mekanik atölyesinden destek alınarak, titreşimsiz optik masa üzerine döner bir platform kurulmuştur. Platformun hareket halinde açısal dönme hızını ölçmek için, hareketsiz zeminden referans alan optik-delikli disk düzeneği ve iki amaçlı redüksiyon sistemi döner platforma sabitlenmiştir.
4. Fiberoptik jiroskop sisteminin laboratuvar ortamında üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında önceden hazırlanan döner platform üzerine sistemin montaj ve kurulumu titiz bir çalışmayla gerçekleştirilmiştir. Sistemin ölçüm ve testlerinin başarıyla yürütülmesi için döner platformdan ve jiroskoptan okunan sinyaller Labview yazılımı ile eş zamanlı analiz edilmiştir.
5. Proje boyunca yapılan çalışmalar ile birlikte proje ekibine olmak üzere, üniversitemizin ve ülkemizin diğer araştırmacı kurum ve kuruluşlarında bu konuda çalışacak araştırmacılara bilgi, bulgu ve deneyimler kazandırılması amaçlanmıştır. Proje çalışmalarından elde edilen sonuçların sergi, konferans ve/veya makale olarak yayınlanması planlanmıştır.

III. Materyal ve Yöntem

Sagnac Etkisi

Bir fiber-optik jiroskop (FOG) rota de i ikliklerini, mekanik jiroskoplardan farklı olarak, Sagnac etkisini kullanarak algılar. Çalı ma prensibi, neredeyse km ölçe indeki uzunlu a sahip fiber-optik bobin içinden geçen ı 1 ın giri imine dayanır. Telekomünikasyon sektörü için 1970'li yılların ba nda diyot (yarıiletken) lazerler ve dü ük kayıplı tek modlu fiber-optiklerin geli imi, Sagnac etkisiyle çalı an fiber-optik jiroskopların pratik cihazlar olarak geli tirilmesini sa lamı tır. Lazerden çıkan iki ı 1 ın demeti, aynı fibere ters yönde enjekte edilir. Açısal olarak dönen bir fiberoptik jiroskopta Sagnac etkisi nedeniyle, zıt yönlerde ilerleyen ı 1 nlardan birinde di er ı 1 na göre optik yol uzunlu u farkından dolayı bir gecikme yada ba ka bir deyi le faz farkı olu ur. Ortaya çıkan diferansiyel faz kayması interferometre ile ölçülür. Optik ı ık bölücüler (beam splitter), bir bobin üzerinden saat yönünde ve saat yönünün tersi yönde ilerleyen iki ayrı dalga formunda ı 1 ı olu turur.

Sagnac etkisini anlamak için, halka interferometre denilen ve ekil-1' de gösterilen deney düzene ini göz atmak gerekir. I ık demeti bu deney düzene inde ikiye bölünür ve bu iki demet ters yönde, halka olu turacak ekilde bir yörüngeyi takip ederek yayılır. Dönme eksenini kapalı alan içinde olmak zorunda de ildir. Halkadan çıkan ı ık sayesinde optik dedektör üzerinde bir giri im deseni elde edilir. Giri im saçaklarının pozisyonu, düzene in açısal hızına da ba lıdır. Bu düzenek, aynı zamanda, Sagnac interferometre (giri imölçer) olarak da adlandırılır [1].

ekil 1. Sagnac Giri imölçer

Fiberoptik teknolojilerin geli mesi ile birlikte Sagnac giri imölçerin fiber makaralar (bobin) kullanarak açısal dönmenin hassas olarak ölçülebilece i fikri geli mi ve 1976 yılında fiber-optik jiroskop resmi olarak ilk kez tanıtılmı tır [2]. Bu tanıtımın ardından günümüze kadar uzanan ço u ara tırmada, fiber-optik jiroskopun boyutlarının küçültülmesi, maliyetinin dü ürülmesi ve hassasiyetinin daha fazla artırılması amaçlanmı tır [3-7]. Bu süreçte, çe itli fiber-optik jiroskop konfigürasyonları geli tirilmi ve her birine özel kullanım alanı biçilmi tir. Fiber-optik jiroskop konfigürasyonları arasında; Halka Lazer (Ring Laser) [8-9] , Kapalı Çevrim (Closed-Loop) [10-12], Açık Çevrim (Open Loop) [13-15] ve Mikro-Elektromekanik Sistemler (Micro Electromechanical Systems-MEMS) [16] jiroskoplar en çok göze çarpanlardır. Bu Ara tırma Projesinde Açık Çevrim konfigürasyonu tercih edilmi tir. Bu seçimde etkili olan faktörler a a ıdaki gibidir;

- Kapalı çevrime göre daha dü ük enerji tüketimi vardır.
- Uzun süre kullanıma uygundur.
- Hiçbir hareketli parçasının olmaması, kullanım kolaylı ı sa lar.
- Güvenilirli i yüksektir.
- Verileri çabuk okuma imkanı vardır.
- Isınma sorunu yoktur.
- Fiyatı daha dü üktür (%40)
- Boyutları daha küçüktür.
- Dı etkenlerden(darbe ve titre imler gibi) etkilenmez.

Açık Çevrim Fiberoptik Jiroskop

Açık çevrim fiberoptik jiroskopun optik ve elektriksel ba lantılarını gösteren montaj eması ekil 2 ' de gösterilmi tir. ekilde solda görülen fiberoptik ba la tırıcı (%50-%50 fiber coupler) ı ık kayna ından çıkan ı ık demetini iki ayrı kola ayırır. Bu ba la tırıcı aslında geri dönen ı 1 ı optik dedektöre ba lamak için kullanılmı tır. Fiberde ilerleyen ı 1 ın +z yönünde ilerledi ini varsayarsak, x ve y yönünde polarize olan iki farklı ı ık, fiberin yapısından kaynaklanan do al sebepten dolayı farklı grup hızlarına sahip olacaktır. Bu durum jiroskop için karı ıklı a sebep olacaktır. ekil 2' de iki ba la tırıcı arasında kullanılan optik kutuplayıcı, ı 1 ı sadece bir yönde do rusal kutuplayarak bu karı ıklı ı engellemektedir. Sa da görülen fiberoptik ba la tırıcı çıkı ındaki ı ık demetini iki kola ayırmaktadır. Böylece fiber bobin üzerinden zıt yönde ilerleyen iki ayrı ı 1 ın demeti olu acaktır. Bu iki koldan birinde bulunan optik faz modülatörü ı 1 ın fazını modüle etmektedir. Optik faz modülasyonu, giri im yapan dedektörden alınan ı 1 ın iddetinde sinüs biçimli genlik de i imleri olarak ortaya çıkacaktır.

ekil 2. Açık çevrim Fiber Jiroskopun Ba lantı eması

Açık çevrim fiber-optik jiroskopların ıkı 1, iki kosinüs i aretinin toplamı biçimindedir. Bobine herhangi bir dönme hareketi uygulanmadı nda, kapalı döngü içerisinde birbirlerine zıt yönde hareket eden iki 1 ık demetinin arasında herhangi bir faz farkı meydana gelmez. I ık demeti aynı anda bobin içerisine girip, aynı anda bobini terk ederler. Bu durumda faz farkı =0 olaca ndan dedektör ıkı 1 maksimum seviyeyi gösterecektir. Hareketli durum için, bobine herhangi bir yönde dönme hareketi uygulandı nda, kapalı döngü içerisinde birbirlerine zıt yönde hareket eden 1 ık demetlerinin arasında, dönme etkisinden dolayı bir faz farkı meydana gelir. Bu faz farkı, iki 1 ık demeti arasında zaman farkına neden olur. I ık demetlerinden biri, dönü yönünde hızlanırken, di er 1 ık demeti dönü yönünün tersi istikametinde bir yava lama gösterir. Kayna ndan aynı anda çıkan bu 1 ık demetleri, meydana gelecek olan gecikmeden ötürü, bobin ıkı 1 ında vardıkları noktada bir giri im örüntüsü olu turacaklardır. Bu giri im sonucunda optik dedektör ıkı 1 1 ın gücünün (P) faz farkına () göre de i imi ekil 3' deki grafikte verildi i gibi gözlenir. Faz farkının \pm ve tek katlarında dedektör ıkı 1 minimum, 0 yada ± 2 ' nin çift katlarında maksimum olacaktır.

ekil 3. Dedektör ıkı 1 optik gücün faz farkına göre de i imi.

Faz gecikmenin miktarı dairesel bir optik yol için $Hız=Yol/Zaman$ gibi çok temel bir formülle hesaplanabilir. Sagnac faz farkı olarak bilinen $\Delta\phi$ 'nin çok küçük de erlerinde, herhangi bir ıkı gözlemlenemez. Bu sebeple çok küçük açısız de i im de erlerinin algılanması zorla ır ve hassasiyet büyük ölçüde dü er [17]. Bu sorunu çözmek için, çalı ma aralı ını sözde do rusal olan cosinüs bölgesine ta ımak gereklidir. Bu bölge $[\Delta\phi=(2n+1) \lambda/2]$ bölgesidir. te bu nokta, faz modülatörünün i idir [18].

Faz modülatörü, çalı ma noktasını cosinüsün sözde do rusal bölgesine ta ır ve bu ekilde daha do ru bir ölçüm alınması sa lanır. Fakat ani rota ve açısız hız de i imlerinde, çalı ma noktası tekrar hassasiyetin dü ük oldu u bölgelere geçer. Açık çevrim fiber-optik jiroskopların, hassasiyet konusunda yapılan ara tırma çalı malarının ardından, ba ka bir jiroskop konfigürasyonu olan "Kapalı Çevrim Fiber-optik Jiroskoplar" geli tirilmi tir. Ancak kapalı çevrim yapısının feedback döngüsü içermesi, sıcaklı a kar ı a ır tepki göstermesi, buna ba lı olarak cihazların zarar görmesi ve bu durumdan kurtulmak için termal sensör kullanımının zorunlu kalınması durumundan dolayı açık çevrim fiber-optik jiroskoplar tekrar önem kazanmı tir.

Bu bölümde devam eden Teorik yöntem ve Hesaplamalar yüklenen "Proje Raporu" dosyasında tüm ayrıntılarıyla sunulmu tur.

IV. Analiz ve Bulgular

Projede, açık çevrim tasarımı ile kurgulanan bir fiberoptik jiroskopun açısal dönü ölçüm hassasiyetinin artırılmasına yönelik ara tırma yürütülmü tür. Kurgulanan jiroskopun hem teorik çalı malarında hem de laboratuvar ortamında gerçekte tirilen deneysel çalı malarında ba arılı sonuçlar elde edilmi tir. Teorik çalı malarda çevresi 50cm makara üzerine sarılı 1km uzunlu undaki fiber sarmalını kullanan açık çevrim tipi fiberoptik jiroskop kurgulanmı ve geli tirilen model Matlab yazılımı kullanılarak simüle edilmi tir. Bu çalı malarda, jiroskop çıkı 1 olan optik dedektörden alınan sinyalin frekans spektrumu analiz edilmi ve 1. ve 2. harmonik genliklerinin, açısal dönü hızıyla yakla ık do rusal ili kisini ortaya koyan yeni bir ölçüm tekni i geli tirilmi tir. 1. ve 2. harmoniklerin farkı alınarak geli tirilen bu teknikte, jiroskop çıkı i areti 0-0.70 rad/s açısal hız aralı nda do rusal oldu kça yakın bir de i im göstermi tir. Bu ölçüm aralı nda, do rusal ba lanım i aretinin r^2 katsayısı (r-squared) 0.9964 olarak hesaplanmı tır ki; bu de er pek çok sensör uygulamalarında do rusal bir çıkı i areti için kabul edilebilir düzeyin üstündedir.

Geli tirilen teorik modelin ve önerilen ölçüm tekni inin pratikte uygulanabilirli ini ispatlamak için, laboratuvar ortamında jiroskobun tasarım parametreleriyle neredeyse birebir örtü en fiberoptik jiroskopun gerçekte tirildi i ve test edildi i deneysel çalı malar yürütülmü tür. Bu çalı malara çapı 50 cm olan döner tabla sistemi kurarak ba lanmı tır. Tablayı elektronik kontrolü hareketlendirmek için iki kademeli redüktörlü motor ve sistemin dönme hızını ölmek için optik-delikli disk sistemi kullanılmı tır. Döner tablanın açısal hızı bu sistem kullanılarak arduino mikrodenetleyicisi üzerinden tüm sistemi kontrol eden Labview yazılımına aktarılmı tır. Fiberoptik jiroskopu olu turan tüm bile enler, döner tablanın üzerinde dikkatlice yerle tirilmi ve birbirine ba lanmı tır. Jiroskop çıkı 1 olan optik dedektörden alınan elektriksel sinyal, NI-ELVIS-II elektronik donanımı ile sayısal i arete dönü türülmü ve analizi yapılmak üzere Labview yazılımına aktarılmı tır.

Projenin bu a amasında yapılan tüm analizler ve bulgular "Proje Raporu" dosyasında ayrıntılı olarak sunulmu tur.

V. Sonuç ve Öneriler

Proje boyunca yapılan tüm teorik, analitik ve deneysel çalı malardan, birbirleriyle tutarlı ve ba arılı sonuçlar elde edilmi tir. Tasarlanan ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen fiberoptik jiroskopun 0-0.6 rad/s açısal hız aralı nda çalı tı ı tespit edilmi tir. Ölçülebilir en küçük açısal hız 0.00219 rad/s olarak belirlenmi tir. Bu hız aslında, dönme hareketini sa layan tablanın kontrol edilebildi i en küçük hızdır. Ancak geli tirilen fiberoptik jiroskobun çok daha küçük açısal hızlara duyarlı oldu u ve bu hızları ölçebilece i elde edilen test sonuçlardan açıkça görülmü tür (Bkz ekil 19-a).

Projede yapılan tüm çalı malar ile projenin amaç ve hedeflerine ula ılmı tır. Projenin, fiberoptik jiroskopların teorik model olu turma, tasarlama, simülasyon, deneysel kurgu, montaj, test ve ölçüm a amaları ba arıyla sonuçlanmı tır. Proje boyunca yapılan çalı malar, proje ekibine önemli bilgi ve deneyim de kazandırmı tır. Matlab yazılımı kullanarak açık döngü fiberoptik jiroskopun simülasyonları yapabilme kabiliyeti, Labview yazılımı ile kurgulanan tüm sistemin bilgisayarlı kontrolünü sa layabilme becerisi, tüm optik sistemin kurgu ve montajını eksiksiz yapılabilme yetene i, edinilen önemli kazanımlardan sadece birkaçıdır.

VI. Gelece e li kin Öngörülen Katkıları

Projeden elde edilen ürünün, yazılımsal ve donanımsal tüm bile enleri ile bölümümüz optoelektronik laboratuvarında, bundan sonra yürütülecek çalı malar için e itim seti, lisans ve lisansüstü düzeylerde ara tırma geli tirme düzene i olarak kullanabilme fırsatı do mu tur. Projeden elde edilen sonuçlar, bu alanda yapılması dü ünülen yeni ara tırmaları ba latma potansiyelini yükseltmi tir. Projeden elde edilen kazanımların, planlanan lisansüstü çalı malara yön verebilece i öngörülmektedir.

VII. Sa lanan Altyapı Olanakları ile Varsa Gerçekte tirilen Projeler

Henüz mevcut projede nde gerçekte tirilen yeni bir proje bulunmamaktadır.

VIII. Sa lanan Altyapı Olanaklarının Varsa Bilim/Hizmet ve E itim Alanlarındaki Katkıları

Tamamlanan proje bir altyapı projesi de ildir.

IX. Kaynaklar

- [1] G. Sagnac, Comptes Rendus de l'Academie des Sciences (Paris) 157, pp.708-710,1410-1413 (1913).
- [2] V.Vali, R.W. Shorthill, 'Fiber Ring Interferometer, Applied Optics', 15 (1976)
- [3] W. Auch, G. Doman, M. Koch, F. Mohr, E. Schlemper, W. Steudle, and O. Strobel, 'Fiber-optic gyro with polarization-preserving fiber', Proceedings of Symposium on Gyro Technology, Stuttgart, Germany, 2-15, (1983).
- [4] BY. Kim, HJ. Shaw, 'Phase reading, all-fiber-optic gyroscope', Opt. Lett., 9, 378-380, (1984).
- [5] H.C. Lefèvre, S. Vatoux, M. Papuchon, C. Puech, 'Integrated optics: A practical solution for the fiber-optic gyroscope', In Proceedings of the Fiber Optic Gyros: 10th Anniversary Conference 101, Cambridge, MA, USA, 101-112, 11 March (1987).
- [6] M. J. F. Dignonet, H. K. Kim, S. Blin, V. Dangui, and G. S. Kino 'Sensitivity and Stability of an Air-Core Fiber-Optic Gyroscope' in Optical Fiber Sensors, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2006), paper ME1.
- [7] R. Yahalom, B. Moslehi, L. Oblea, V. Sotoudeh, JC. Ha, 'Low-cost, compact fiber-optic gyroscope for super-stable line-of-sight stabilization', In Proceedings of the IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS), Indian Wells, CA, USA, 180-186, 4-6 May (2010).
- [8] S. Huang, K. Toyama, BY. Kim, HJ. Shaw, 'Lock-in reduction technique for fiber-optic ring laser gyros', Optics Letter, 18 (7) 555-557, (1993).
- [9] S. Huang. PA. Nicati, K. Toyama, BY. Kim, HJ. Shaw HJ., 'Synthetic heterodyne detection in a fiber-optic ring-laser gyro', Optics Letter, 18 (1) 81-83, (1993).
- [10] A. Ebberg, G. Schiffner, 'Closed-loop fiber-optic gyroscope with a sawtooth phase-modulated feedback', Opt. Lett. 10, 300-302, (1985).
- [11] Y. Yah, D.I. Kim, B.Y. Kim, 'New Digital Closed-Loop Processor for a Fiber-Optic Gyroscope', IEEE Photonics Technology Letters, 11(3), 361-363 (1999).
- [12] O. Celikel, S. San, "Construction of all digital closed-loop interferometric fiber optic gyroscope with erbium doped fiber amplifier", Indian Journal of Pure and Applied Physics, 47 (7), 491-500, (2009).
- [13] Y. Gronau, M. Tur, 'Digital signal processing for an open loop fiber optic gyroscope', Applied Optics, Sept 34 (25), 5849-5853, (1991).
- [14] C.Y. Liaw, Y. Zhou, Y-L. Lam, 'Characterization of an open-loop interferometric fiber-optic gyroscope with the Sagnac coil closed by an erbium-doped fiber amplifier' J. Lightw. Technol.,16:2385-2392, (1998).
- [15] Y. Zhang, Y.Guo, C. Li, Y. Wang and Z. Wang, 'A new open-loop fiber optic gyro error compensation method based on angular velocity error modeling' J Sens, 15: 4899-4912, (2015).
- [16] V. Annovazzi Lodi, S. Merlo, 'Mechanical-Thermal Noise in micromachined Gyros', Microel. Journal, 30, 1227-1230, (1999).
- [17] P. Polynkin P, J. de Arruda , J. Blake, 'All-optical noise-subtraction scheme for a fiber-optic gyroscope', Opt Lett., 25 (3), 147-149, (2000).

X. Ekler

a) Mali Bilanço ve Açıklamaları:

Projenin toplam bütçesi 18.113 TL' dir. Bu bütçenin 3.068 TL' lik kısmı ile tüketime yönelik malzeme olarak (kodu: 03.02), 1 adet Fiberoptik kutuplayıcı (Polarizer), 2 adet Fiberoptik Çiftleyici (Coupler) alımı yapılmı tır. Bu malzemeler, geli tirilen fiberoptik jiroskop düzene inde dikkatlice kullanılmı olup c Bütçenin 9.440 TL' lik kısmı ile Menkul mal olarak (kodu:03.07) C band ı ıma kayna ı (EDFA) satın alınmı tır. Sistemin optik bezlemesini sa layan bu cihaz tüm fonksiyonlarıyla faal durumdadır. Bütçenin 5.605 TL' lik kısmı ile Menkul mal olarak (kodu:03.07) optik faz modülatörü satın alınmı tır. Sistemin faz modülasyonunu sa layan bu cihaz faal durumdadır.

b) Makine ve Teçhizatın Konumu ve lerideki Kullanımına Dair Açıklamalar:

Menkul mal kapsamında alınan C band ı ıma kayna ı (EDFA) ve Optik faz modülatörü bölümümüz Optoelektronik demirba envanterine kaydedilmi ve laboratuvarımız için önemli bir ihtiyaç giderilmi tir. Bu iki cihaz, hem optik haberle me sistemleri için hem de fiberoptik sensör uygulamaları için gerekli olan sistem ekipmanlarıdır. Bu projede kullanılmasının yanında, Laboratuvarımızda devam eden dönemlerde yürütülecek tez, ödev uygulama ve proje çalı malarında kullanılabilme potansiyeli çok çok yüksektir.

c) Teknik ve Bilimsel Ayrıntılar:

Projenin Teknik ve Bilimsel ayrıntılarına dosya olarak yüklenen Proje Raporunda yer verilmi tir.

d) Sunumlar (bildiriler ve teknik raporlar):

Projeden elde dilen ilk sonuçlar, 11-12 Haziran 2016 tarihinde Elektrik Mühendisleri Odası tarafından organize edilen ve Ankara' da düzenlenen Bitirme Projeleri Sergisinde sunulmu tur.

e) Yayınlar (hakemli bilimsel dergiler) ve tezler:

Proje sayesinde edinilen bilgi bulgu, sonuç ve yorumlardan bir makale yazımı süreç olarak devam etmektedir. Tamamlandı ında hakemli bir dergiye gönderilecektir.