



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# FBG algılama sistemlerinde gaussian uyarlama yöntemi ile merkez dalgaboyunun belirlenmesi

## *Determination of central wavelength in fbg sensing systems by gaussian fitting technique*

Yazar(lar) (Author(s)): Murat YÜCEL<sup>1</sup>, Nail Ferhat ÖZTÜRK<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-0349-4013

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0595-2353

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Yücel M., Öztürk N. F., “FBG algılama sistemlerinde gaussian uyarlama yöntemi ile merkez dalgaboyunun belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(1): 63-68, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.685320

# FBG Algılama Sistemlerinde Gaussian Uyarlama Yöntemi ile Merkez Dalgaboyunun Belirlenmesi

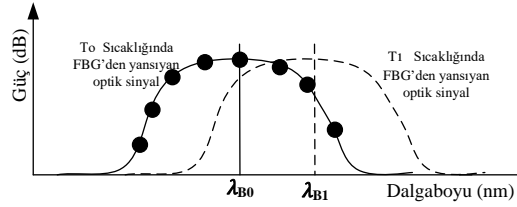
## Determination of Central Wavelength in FBG Sensing Systems by Gaussian Fitting Technique

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ FBG algılama sistemleri / FBG sensor systems
- ❖ Bragg merkez dalga boyunun belirlenmesi / Determined of the Bragg center wavelength
- ❖ Gaussian uyarlama yöntemi / Gaussian fitting methods
- ❖ FBG sensör dizisi / FBG sensor array

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sıcaklık değişimine karşılık FBG'nin merkez dalgaboyunun tespiti için, Gaussian uyarlama yöntemi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. / The Gaussian fitting method for the determination of the central wavelength of FBG in response to temperature changes has been theoretically and experimentally examined.



Şekil. Gaussian uyarlama tekniği ile sıcaklık ölçüm prensibi / (Figure. Temperature measurement principal with Gaussian fitting technique)

### Amaç (Aim)

FBG bandının Gaussian bandına benzemesi sebebiyle, en doğru sonucu almak için Gaussian uydurma metodu ile FBG merkez dalgaboyu bulunmuştur. / Because of the FBG band is similar to the Gaussian band, the FBG center wavelength has been found using the Gaussian fitting method to get the most accurate result.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Lazer tarama tekniği ile gerçekleştirilen FBG dizisi algılama sistemi için merkez dalgaboyunun Gaussian uyarlama yöntemi ile tespiti yapılmıştır. Bu amaçla beş FBG'den oluşan sensör dizisinin sıcaklık değişimleri bilgisayar ortamında izlenmiştir. / For the FBG array detection system performed by laser scanning technique, the central wavelength was determined by Gaussian adaptation method. For this purpose, temperature changes of the sensor array consisting of five FBGs were monitored in computer.

### Özgünlük (Originality)

FBG merkez dalga boyu tespiti için özgün bir modelleme yazılımı geliştirilmiştir. / A unique modeling software has been developed for FBG center wavelength detection.

### Bulgular (Findings)

Farklı tarama adımları seçilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Tarama adımlarının algılama hasasiyeti ve ölçüm zamanına büyük etkisi olduğu gözlemlenmiştir. / The results were observed by selecting different screening steps. It has been observed that scanning steps have a great effect on detection accuracy and measurement time.

### Sonuç (Conclusion)

Optimum adım aralığı 50 pm olarak seçilmiş ve yaklaşık 300-400 pm'lik bir FBG dalgaboyu bandı en az 6-8 noktadan gözlemlenmiştir. Böylece FBG bandı boyunca her 50 pm'ye karşılık gelen güç değerleri ölçülerek sinyalin tepe noktası belirlenmiştir. / The optimum step range was chosen as 50 pm and an FBG wavelength band of approximately 300-400 pm was observed from at least 6-8 points. Thus, the peak point of the signal was determined by measuring the power values corresponding to every 50 pm along the FBG band.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# FBG Algılama Sistemlerinde Gaussian Uyarılama Yöntemi ile Merkez Dalgaboyunun Belirlenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Murat YÜCEL<sup>1\*</sup>, Nail Ferhat ÖZTÜRK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>TCDD Genel Müdürlüğü Sinyalizasyon ve Telekomünikasyon Şubesi, Türkiye

(Geliş/Received : 05.02.2020 ; Kabul/Accepted : 17.02.2020)

## ÖZ

Fiber Bragg Izgaralar (FBG) yaklaşık 1 cm boyutlara sahip olup, klasik tek modlu fibere kolaylıkla bağlanabilirler. Hassas olmalarına rağmen dış ortam koruma tasarımları ile her türlü ortama kolaylıkla monte edilebilirler. Sıcaklık ve gerilme gibi fiziksel büyüklüklerin değişimleri, doğrusal olarak FBG'lerin merkez dalgaboylarında değişime sebep olmaktadır. FBG algılama sistemlerinde, yansıyan sinyalin merkez dalgaboyunun tespiti en önemli araştırma konularından biri olmaktadır. FBG'nin merkez dalgaboyunun tespiti için farklı yaklaşımlar üzerinde çalışılmakla birlikte, en yaygın yaklaşım sinyalin en yüksek güç değerine karşılık gelen dalgaboyunun merkez dalgaboyu olarak kabul edilmesi yaklaşımıdır. Bu en yüksek güç değerine sahip dalgaboyunu tespit etmek için de farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en kararlı sonuç veren yöntem ise Gaussian uyarılama yöntemidir. Bu çalışmada sıcaklık değişimine karşılık FBG'nin merkez dalgaboyunun tespiti için Gaussian uyarılama yöntemi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak 5 FBG dizinden sıcaklık ölçümü alınarak, anlamlandırılmış ve sıcaklık algılama sistemi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fiber Bragg ızgara, fiber optik sensör, gaussian uyarılama tekniği.

## Determination of Central Wavelength in FBG Sensing Systems by Gaussian Fitting Technique

### ABSTRACT

Fiber Bragg Gratings (FBG) are approximately 1 cm in size and can easily be connected to conventional single-mode fiber. Although they are sensitive, they can be easily installed in any environment with their outdoor protection designs. Changes in physical sizes such as temperature and stress cause linear changes in FBG's central wavelengths. In FBG sensing systems, the detection of the central wavelength of the reflected signal is one of the most important research subjects. Although different approaches have been studied for the determination of the central wavelength of FBG, the most common approach is to accept the wavelength corresponding to the highest power value of the signal as central wavelength. Several techniques are used to determine the wavelength with this highest power value. The most stable method among these methods is the Gaussian fitting method. In this study, the Gaussian fitting method for the determination of the central wavelength of FBG in response to temperature changes has been theoretically and experimentally examined. As a result, the temperature measurement was taken from 5 FBG arrays, the signals were processed, and the temperature detection system was realized.

**Keywords:** Fiber Bragg grating, fiber optical sensor, gaussian fitting technique.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fiber Bragg Izgaraların keşfi, fiber optik algılama sistemlerinin araştırma ve geliştirme çalışmaları üzerinde önemli bir etki yaratmıştır. Izgara alanındaki çevresel değişimlere duyarlı olmalarından dolayı da algılama birimi olarak kullanılmaları için yapılan kapsamlı çalışmalar sonucunda FBG sensör sistemleri geliştirilmiştir. Bu ızgaralar tek modlu fiber üzerinde çeşitli yazma teknikleri kullanılarak üretilmekte ve algılama alanında bilgiler dalgaboyu kodlamalı olarak ölçülmektedir [1-5].

FBG, ışık kaynağı tarafından kendisine gönderilen ışığın Bragg dalgaboyuna denk gelen belli bir kısmını yansıtmakta, kalanını ise iletmektedir. Bu yansıyan

bandın merkez dalgaboyunun tespiti ile de fiziksel ortamdaki sıcaklık ve gerilme değişimleri gibi büyüklükler tespit edilebilmektedir. Bu da yansıyan sinyalin merkez dalgaboyunu bulmakla mümkün olmaktadır [5].

FBG algılama sistemlerinde FBG spektrumu net olarak elde edilemez. Bunun en büyük sebebi çok düşük genliğe sahip olan optik ve dolayısı ile elektriksel sinyaldir. Optik-elektriksel dönüşüm sonucunda düşük genlik sebebi ile eklenen gürültü sinyali FBG spektrumunu daha da bozuk bir hale getirecektir. Bu sebeple FBG'nin merkez dalgaboyunu doğru olarak belirlemek FBG algılama sistemlerinde büyük bir probleme sebep olur. FBG band spektrumunun doğru olarak elde edilebilmesi için elektriksel sinyal üzerinde farklı algoritmalar kullanılır. FBG bandının Gaussian bandına benzemesi

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : muyucel@gazi.edu.tr

sebebiyle, Gaussian uydurma metodu merkez dalgaboyunu bulmak için en kararlı ve doğru sonuçları vermektedir.

Bu çalışmada ayarlanabilir lazer kaynağı (Tunable Laser Source-TLS) kullanılarak, lazer tarama tekniği ile gerçekleştirilen FBG dizisi algılama sistemi için merkez dalgaboyunun Gaussian uyarılma yöntemi ile tespiti teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla kurulan deneysel kurulumda beş FBG'den oluşan sensör dizisinin sıcaklık değişimleri, optik olarak algılanıp elektriksel şekle dönüştürülmüş ve bilgisayar ortamında işlenmiştir. Makalenin ikinci bölümünde teorik analiz yapılmış, üçüncü bölümde deneysel kurulum ve sonuçları açıklanmış ve son bölümde sonuç ve tartışmalar verilmiştir.

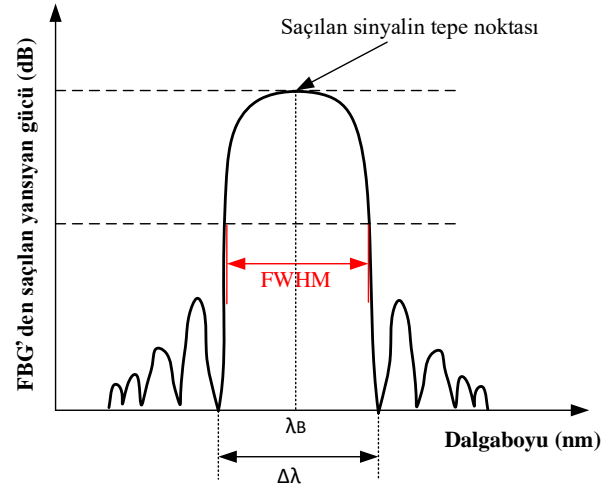
## 2. TEORİ (THEORY)

FBG'lerin en önemli özelliği, ölçülen parametredeki değişimin doğrudan Bragg dalgaboyunda bir kaymaya dönüştürülmesidir. Yansıyan ışığın dalga boyundaki bu kayma, optik kaynaktaki güç değişikliklerinden bağımsız olarak gerçekleşmektedir. FBG sensörlerdeki en önemli konu ise yansıyan spektrumun tepe noktasına karşılık gelen dalgaboyunun küçük hata oranlarıyla tespitidir. FBG sensör sistemlerinde bulunan elektronik ekipman donanımı, ölçümün yapıldığı ortam ve FBG özellikleri nedeniyle sinyalde gürültü meydana gelmektedir ve bu gürültü demodülasyon doğruluğunu etkilemektedir. Gürültüyü elimine ederek tepe noktasının dalgaboyunu belirlemek için çeşitli filtreleme teknikleri kullanılmaktadır. Kullanılan temel teknikler ise çapraz korelasyon ve sayısal filtreleme teknikleridir [5, 6].

Çapraz korelasyon tekniği, referans spektrum ile gerilme veya sıcaklık değişiminden kaynaklanan dalga boyu kayması sonucunda izgaralardan ölçülen spektrumlar arasındaki korelasyonu kullanmaktadır. Sayısal filtreleme algoritmaları ise sinyal gürültü oranını iyileştirerek, yansıyan sinyalin spektral özelliklerini düzeltmek için kullanılmaktadır [6].

Bu yöntemler kullanılarak sinyaldeki gürültüler elimine edildikten sonra, yansıyan bandın merkez dalgaboyunu belirlemek için çeşitli tepe bulma yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Merkez dalgaboyunun tespiti için kullanılan bu tepe bulma yöntemlerinden bazıları, sinyaldeki en yüksek genliği tarama, (maximum algorithm): spektrumun tepesindeki geometrik merkezi tarama (centroid algorithm): dalgacık dönüşümü (wavelet transform) ve Gaussian uyarılma (Gaussian fitting) yöntemleridir [1-10].

Tipik olarak bir FBG'den yansıyan sinyal spektrumu Şekil.1'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yansıyan sinyal sinüsoidal sinyale benzemekle birlikte, içinde gürültü de barındırmaktadır.



Şekil 1. Tipik Bragg yansıma sinyali [5] (Typical Bragg reflection signal)

Gaussian fonksiyonları matematik, bilim ve mühendislikteki bir çok prosesi açıklamak, bunları kullanışlı hale getirmek, sinyal ve görüntü işlemek için uygun olmaktadır. FBG'den yansıyan band da Gaussian şekle benzediğinden, merkez dalgaboyu tespiti için Gaussian Uyarılma tekniği en uygun yöntemlerden biri olmaktadır. Bu yöntem kullanıldığında, band üzerindeki gürültünün, dalgaboyu değişimi üzerindeki etkisi de azaltılmış olmaktadır.

Fiber Bragg ızgaraya spektrumunun Gaussian dağılımı Eş.1 ile verilmektedir.

$$R(\lambda) = R_0 \cdot \exp \left[ -4 \cdot \ln 4 \left( \frac{\lambda - \lambda_B}{\Delta} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Burada  $\Delta$  Gaussian çanının yarı yükseklikteki tam genişliğini (FWHM):  $\lambda_B$  FBG'nin merkez dalgaboyunu,  $R(\lambda)$  FBG'nin yansıma spektrumunu,  $R_0$  Bragg dalgaboyunda gerçekleşen maksimum yansımayı ifade etmektedir [3].

Yansıyan ışığın fotodetektördeki spektrumu ise Eş.2'deki gibi yazılabilmektedir.

$$I_s(\lambda) = \frac{I_0}{4} R(\lambda) = \frac{I_0}{4} R_0 \exp \left[ -4 \ln 2 \left( \frac{\lambda - \lambda_B}{\Delta} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Burada  $I_0$  ışık kaynağının başlangıçtaki yoğunluğunu ifade etmektedir. Sistemde herhangi bir gürültü oluştuğunda fotodetektördeki ışık yoğunluğu, ideal sinyal  $I_s(\lambda)$ 'ya ek olarak, gürültü sinyali  $I_n(\lambda)$ 'yı da içerecektir. Bu durumda kirletilmiş sinyal Eş.3'teki gibi yazılacaktır.

$$x(\lambda) = I_s(\lambda) + I_n(\lambda) \quad (3)$$

Ölçülen spektrumdaki güçlü gürültü, sensörün izleme ve işlem karakteristiğinde büyük etkiye sahiptir. Karmaşık fiziksel faktörlerin neden olduğu bir sinyalin rastgele gürültüsü, olasılık teorisinden merkezi limit teoremine göre Gaussian dağılımı ile modellenilebilmektedir [3,4]. Genel Gaussian eğri uyarılma (curve fitting) fonksiyonu Eş.4'teki gibi yazılmaktadır.

$$y = A \cdot \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

Burada  $A$  sinyalin genliğini,  $x$  sinyalin merkezini,  $\sigma$  ise sinyaldeki sapmayı ifade etmektedir [4, 5].

Eş.4 FBG sensörlere uyarlandığında, ve yansıyan sinyalin merkez dalgaboyu  $\lambda_B$ , Bragg dalgaboyundaki hesaplanan genlik  $y_B$  olarak tanımlandığında FBG Gaussian eğri uyarlama fonksiyonu Eş.5'teki gibi yazılabilmektedir.

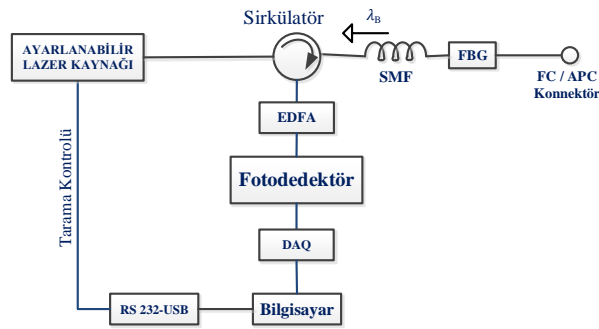
$$y_B = A \cdot \exp\left(-\frac{(C-\lambda_B)^2}{2V^2}\right) \quad (5)$$

Burada  $A$  sinyalin genliğini,  $C$  sinyalin merkezini,  $V$  ise sapmayı ifade etmektedir [5, 8]. Burada  $C = \lambda_B$  olduğunda yansıyan sinyalde tam bir çan eğrisi elde edilmiş olmaktadır.

FBG bandı Gaussian şekle benzediğinden Gaussian uyarlama yöntemi ile merkez dalgaboyu bulunduğunda, band üzerindeki gürültünün, dalgaboyu üzerindeki hata etkisi de minimize edilmiş olmaktadır [1-7]

### 3. DENEYSEL KURULUM ve SONUÇLAR (EXPERIMENTAL SETUP and RESULTS)

Bu çalışmada ayarlanabilir lazer kaynağı kullanılarak, sıcaklık ve gerilme ölçümü için FBG sensör sistemi tasarlanmış ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu sensör sistemine ait deneysel kurulum düzeni Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Deneysel düzenek [5] (Experimental setup)

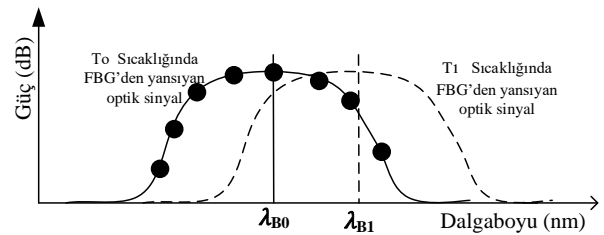
Bu kurulum düzeninde lazerden gönderilen sinyaller sirkülatörün 1 nolu portuna bağlanmış, 2 nolu porttan ise FBG'ye uygulanmıştır. FBG'den merkez dalgaboyunda yansıyan sinyaller ise sirkülatörün 3 nolu portundan alınarak uygun kazançlı bir fiber yükselteç (Erbium Doped Fiber Amplifier - EDFA) vasıtasıyla güçlendirildikten sonra fotodetektöre iletilmektedir. Fotodetektörün çıkışındaki elektriksel sinyal de veri işleme kartı (Data Acquisition-DAQ) ile dijital sinyale dönüştürülerek bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu veriler ise sinyal işleme algoritmaları ile işlenmiştir.

FBG'den yansıyan bu sinyalin bandı Gaussian şekline yakınsamakla birlikte tam olarak sinüsoidal bir band izlememektedir. Bu nedenle sadece sinyalin tepe noktasına bakmak yanlış ölçüm almaya ve hata oranının artmasına neden olmaktadır. Doğru ölçüm alabilmek için

bu sinyalin üzerine uygun yöntemlerle Gaussian oturtmak gerekmektedir.

FBG bandını gözlemlemek için öncelikle uygun adım aralığı seçilmelidir. Seçilecek adım aralığında ölçüm hızı ile hata oranı arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Bu çalışmada adım aralığı 50 pm seçilmiş ve FBG dalgaboyu bandı 8 noktadan gözlemlenmiştir. Böylece merkez bulma algoritmaları için detaylı bir gözlem yapılmış olmaktadır. Bandın üzerine Gaussian oturtularak FBG merkez dalgaboyu yüksek doğrulukla bulunmaktadır. Minimum arama algoritmaları ile FBG bandına oturan Gaussian parametreleri belirlenmektedir. Bu parametreler ve adım aralıkları göz önüne alınarak FBG merkez dalgaboyu ile rezonans genişliği (Full Width at Half Maximum- FWHM) değeri bulunmaktadır.

Sıcaklık ölçümü için örnek bir Gaussian eğri uyarlama gösterimi Şekil 3'te görülmektedir. Burada  $\lambda_{B0}$  başlangıçtaki sıcaklığa karşılık gelen dalgaboyunu,  $\lambda_{B1}$  ise  $\Delta T$  zaman sonundaki sıcaklığa karşılık gelen dalgaboyunu ifade etmektedir. Bu teknik ile 400 pm'lik band boyunca her 50 pm'ye karşılık gelen güç değerleri ölçülerek tepe noktası bulunmaktadır. En yüksek güce sahip bu noktaya karşılık gelen dalgaboyu ise FBG'nin merkez dalgaboyu olarak kabul edilmektedir.



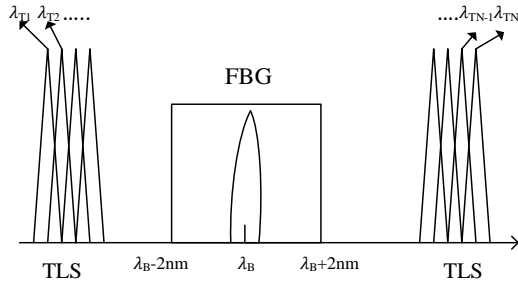
Şekil 3. Gaussian uyarlama tekniği ile sıcaklık ölçüm prensibi [5] (Temperature measurement principal with Gaussian fitting technique)

Merkez dalgaboyu değeri, deneyde kullanılan FBG'nin kullanım klavuzu içerisinde belirtilen formül ile sıcaklık için derece (celcius): gerilme (strain) için ise mikrostrain'e çevrilebilmektedir. Bu işlemlerden sonra gerilme ve sıcaklık ölçüm sonuçları hala gürültüldür. Bu gürültüyü elimine etmek için ise Kalman filtre kullanılmıştır. Lineer sistemler için, Kalman filtresi gürültüyü bastırmak için kullanılmaktadır. Daha sonra kalan inovasyon dizileri, kazanç matrisi ve Kalman filtresi tarafından yaratılan inovasyon kovaryansı, bir büyüklüğü bir doğrusal tahmin edici kullanarak tanımlamak için kullanılmaktadır. Kalman filtresi sadece sürekli sinyali tahmin etmek için kullanılabilir, rastgele ve kesikli bir sinyali tahmin etmek için kullanılamamaktadır [5, 9].

Kalman filtre yardımı ile kararlı hale getirilen ölçüm sonuçları kaydedilmekte ve grafik arayüze aktarılmaktadır. Kullanıcı grafik arayüzü içerisinde her ölçümü görebilmek için, anlık FBG band grafiği, band akış grafiği, işlenmiş ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ölçümün kontrolü için giriş tarama başlangıç-bitiş değerleri ve adım değerleri grafik arayüzde tanımlanmaktadır. İşlemleri başlatmak için ise toggle

buton kullanılmaktadır. Sistem çalışırken bu butonun durumu sürekli kontrol edilmektedir. Bu buton pasif olduğunda işlem durdurulmaktadır.

Optik sensör tarama tekniğinde ışık kaynağının adım aralığı, saniyedeki adım sayısı ve çıkış gücü gibi önemli faktörler bulunmaktadır. FBG sensör sisteminde kullanılan lazer tarama tekniğinin prensip şeması Şekil 4'te görülmektedir.  $\lambda_B$  FBG sensörün merkez dalgaboyunu ifade etmektedir.  $\lambda_{T1}, \dots, \lambda_{TN}$  ise lazer kaynağının herbir tarama dalgaboyunu göstermektedir. Bu çalışmada lazer tarama adım aralığı  $\lambda_{T2} - \lambda_{T1} = 50$  pm seçilmiştir. FBG'nin spektral aralığına göre lazerin taramaya başladığı ve bittiği dalgaboyları belirlenmiştir [10, 13].



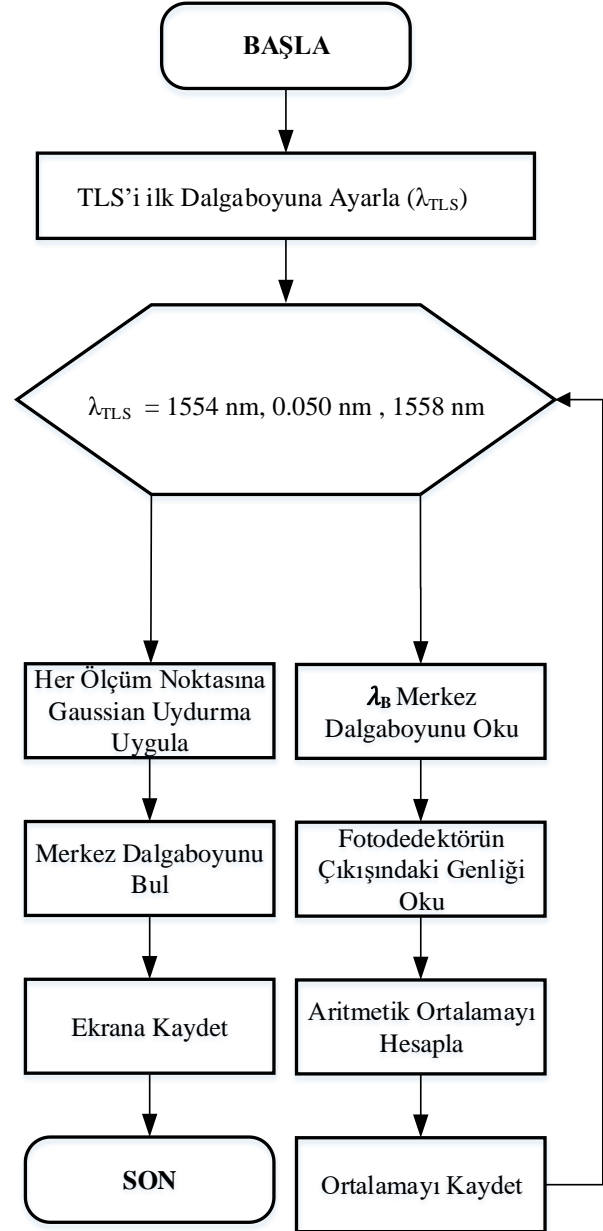
Şekil 4. TLS ile lazer tarama tekniği [5, 13] (Laser sweep technique with TLS)

Şekil 5.'da ise gerilme ölçümü için tasarlanana FBG sensör sisteminin akış diyagramı görülmektedir. Akış diyagramından da görüldüğü gibi 0.05 nm'lik her adımda merkez dalgaboyunun tespiti için, sinyale Gaussian uyarlama tekniği uygulanmıştır.

Bu çalışmada FBG ile gerilme ölçümü için bir demiryolu rayı kullanılmıştır. Raya uygulanan her bir gerilme değerine karşılık dalgaboyunda oluşan kaymalar incelenerek, lineer regresyon ile dalgaboyu-gerilme ilişkisi hesaplanmıştır. Bu şekilde raya uygulanan kuvvet nedeniyle FBG'de oluşan dalgaboyu değişimleri ve gerilme değişimleri gerçek zamanlı olarak izlenmiştir [5, 14].

FBG ile sıcaklık ölçümünde ise termal ortam olarak blok ısıtıcı kullanılmıştır. Her bir sıcaklık değişiminde kararlı ölçüm alabilmek için 15 dakika süreyle beklenildikten sonra optik sinyaller kaydedilmiştir [13].

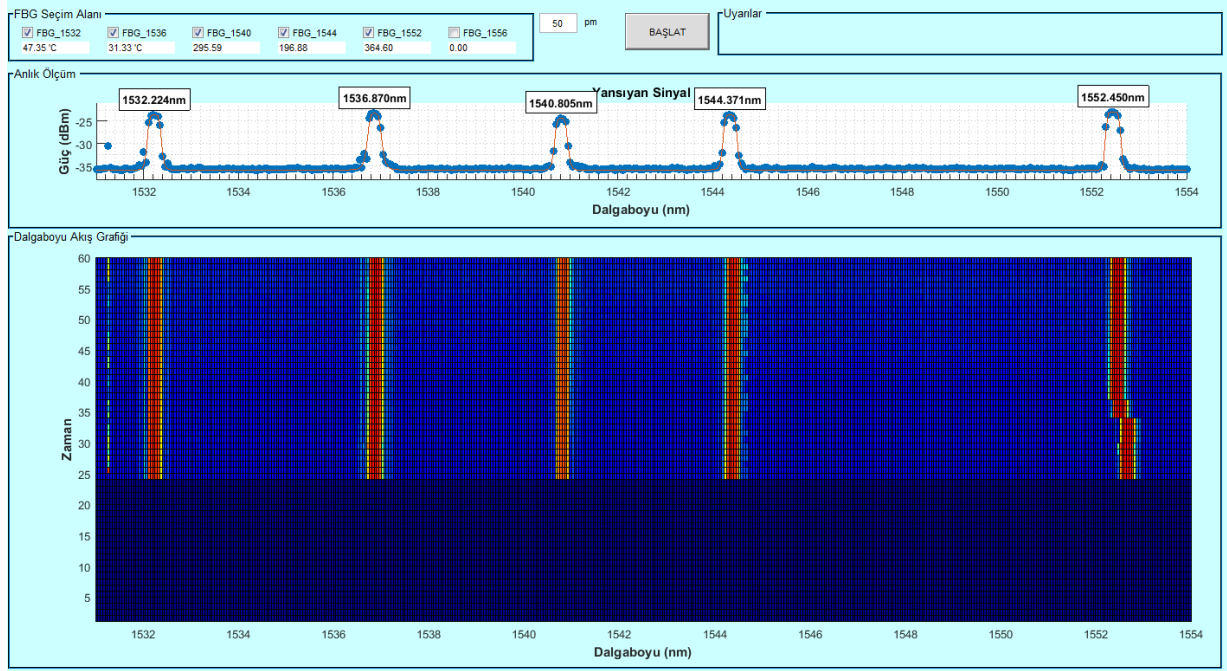
FBG sensörden yansıyan ve bir EDFA tarafından güçlendirildikten sonra fotodetektör vasıtasıyla sayısal büyüklüğe dönüştürülen bu sinyaller, bir DAQ veri işleme kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmış ve Matlab programı ile işlenmiştir. Fotodetektörden mutlak değeri 0-20 V ( $\pm 10V$ ) aralığında alınan sinyaller, veri işleme kartı aracılığıyla 0-65536 aralığında sayısal büyüklüğe dönüştürülerek bilgisayara aktarılmaktadır. Sinyaldeki gürültünün etkisini azaltmak ve 50 pm'lik optik tarama adımını elde etmek için her bir sinyalden 25 örnek alınmıştır. Yani her 50 pm'lik optik tarama adımı, fotodetektörün çıkışında yaklaşık olarak 8m V'luk bir



Şekil 5. FBG sensör sisteminin akış diyagramı [5] (Flow diagram of FBG sensor system)

değişime karşılık gelmektedir. Bu şekilde elde edilen  $\Delta V$  değerleri ile  $\Delta \lambda$  hesaplanmış ve FBG'nin üretim özelliklerine göre değişen kompanzasyon katsayıları da dikkate alınarak, dalga boyuna denk gelen sıcaklık ya da gerilme değişimleri tespit edilmiştir [5].

Bilgisayara aktarılan veriler ise sinyal işleme algoritmaları kullanılarak oluşturulan gerçek zamanlı bir ara yüz vasıtasıyla monitör edilmiş ve FBG bandının izlenmesi sağlanmıştır. Bu arayüz Şekil 6'da görülmektedir. Ara yüzde her dizi halinde kullanılan her bir FBG ayrı ayrı ya da birlikte seçilerek ölçüm süreleri, adım aralığı ve tarama tipleri denenmiştir.



**Şekil 6.** FBG sensör sistemi için tasarlanan kullanıcı ara yüzü ile sıcaklık ölçümü [5] (Temperature measurement with designed user interface for FBG sensor system)

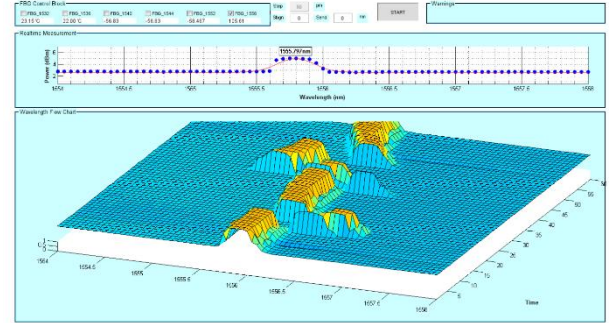
Şekil 7’de görülen ara yüzün sol üst köşesinde kullanılan FBG’ler dalgaboyları ile birlikte gösterilmiştir. Bu kısımdan izlenmek istenen FBG’ler seçilebilmektedir. Hemen altında ise anlık ölçümler görülmektedir. İlgili FBG’nin hemen altında ise hesaplanan sıcaklık ve gerilme değerleri görülmektedir. Bu alanın hemen sağında adım aralığının pm olarak seçilmesi için bir bölüm bulunmaktadır. Bunun yanında başlat düğmesi ile sağında uyarılar bölümü bulunmaktadır [13,14].

Bu ara yüzde FBG’ler iki ayrı grafik ile takip edilmiştir. Üst kısımdaki “Anlık Ölçüm” grafiğinde FBG’lerin adımları, Gaussian ve merkez dalgaboyları görülmektedir. Hemen altındaki grafikte ise üst kısımdaki grafiğin zamana göre akışı gösterilmiştir.

Şekil 7’de ise gerilme ölçümünde kullanılan tek bir FBG sensör için oluşturulan üç boyutlu gerçek zamanlı ölçüm diyagramı görülmektedir. Gerçek zamanlı ölçüm diyagramında x eksenini FBG’nin dalgaboyunu, y eksenini ise bu dalgaboyuna karşılık gelen fotodetektörden ölçülen gücü göstermektedir. Gerçek zamanlı ölçümün hemen altında ise 60 sn süreyle ölçülen değerlerin üç boyutlu akış diyagramı görülmektedir. Bu akış diyagramında x eksenini her bir gerilme değerine karşılık gelen dalgaboyunu, y eksenini zamanı, z eksenini ise her bir gerilme değerinde ölçülen sinyalin gücünü göstermektedir.

Şekil 7’de görülen çalışmada 1556 nm merkez dalgaboyuna sahip FBG kullanılarak laboratuvar ortamında gerilme ölçümü yapılmıştır. Gerilme ölçümü için bir demiryolu rayı kullanılmıştır. Bu gerilme ölçümünde uygulanan kuvvete karşılık formülasyon

kullanılarak hesaplanan gerilme değeri ile yazılım aracılığıyla ölçülen değerler karşılaştırılmıştır [5,14].



**Şekil 7.** Bilgisayar kullanıcı ara yüzü ile gerilme ölçümü (Strain measurement with computer user interface)

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (CONCLUSION AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada ayarlanabilir lazer kaynağı kullanılarak oluşturulan FBG sensör sisteminde, sensörden yansıyan sinyalin merkez dalgaboyunu belirlemek için Gaussian uyarılma tekniği kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı tarama adımları seçilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Tarama adımları küçük seçildiğinde daha hassas ölçümler alınabilmekte birlikte, tarama zamanı uzun olmakta ve anlık değişimlerin takibi zorlaşmaktadır. Tarama adımları çok büyük seçildiğinde ise çok kısa sürede ölçüm alınabilmekte, ancak hassas sonuçlar elde edilememektedir.

Yapılan farklı çalışmalardan sonra optimum adım aralığı 50 pm olarak seçilmiş ve yaklaşık 300-400 pm’lik bir

FBG dalgaboyu bandı en az 6-8 noktadan gözlemlenmiştir. Böylece FBG bandı boyunca her 50 pm'ye karşılık gelen güç değerleri ölçülerek sinyalin tepe noktası belirlenmiştir. Sinyalin tepe noktası belirlendikten sonra, sıcaklık ve gerilme değişimleri sonucunda sinyalde meydana gelen kaymalar algılanmış ve grafik arayüze aktarılmıştır. Bu grafik arayüzde FBG sensörün gerçek zamanlı dalgaboyu-güç değişim grafiği ile 60 saniyelik iki boyutlu dalgaboyu-zaman ve üç boyutlu zaman-dalgaboyu-güç akış diyagramları oluşturulmuştur. Geliştirilen yazılım ve tasarlanan arayüz ile kararlı ölçümler almak mümkün olmuştur.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Li Y., Xie Y., Yao G., "Comparison of peak searching algorithms for wavelength demodulation in fiber Bragg grating sensors", *Information Engineering and Computer Science(ICIECS): IEEE 2nd International Conference*, (2010).
- [2] Posseti G.R.C., Kamikawachi R.C., Muller M., Fabris, J.L., "Metrological evaluation of optical fiber grating based sensors: An Approach Toward the Standarization", *Journal of Lightwave Technology*, 30(8): 1042-1052, (2012).
- [3] Harasim D., Kashaganova G., Kussambayeva N., "Accuracy improvement of fiber Bragg grating peak wavelength demodulation using wavelet transform and various center wavelength detection algorithms", *Przeglad Elektrotechniczny*, 92(6): 86-89, (2016).
- [4] Guo H., "A Simple algorithm for fitting a Gaussian function ", *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(5): 134 – 13, (2011).
- [5] Öztürk N.F., "Demiryolu güvenliği için fiber optik sensör tasarımı", *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, , Ankara, (2018).
- [6] Gong J.M., Chan C.C., Jin W., MacAlpine J.M.K., Zhang M., Liao Y.B., "Enhancement of wavelength detection accuracy in fiber Bragg grating sensors by using spectrum correlation technique", *Optics Communications*, 212, 29-33, (2002).
- [7] Lim J., Yang Q., Jones B.E., Jackson P.R., "Strain and temperature sensors using multimode optical fiber Bragg gratings and correlation signal processing", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 51(4): 622-627, (2002).
- [8] Negri L., Nied A., Kalinowski H., Paterno A., "Benchmark for peak detection algorithms in fiber Bragg grating interrogation and a new neural network for its performance improvement", *Sensors*, 11(4): 3466-3482, (2011).
- [9] Song X., Zhang Y., Liang D., "Load Identification for a cantilever beam based on fiber Bragg grating sensors", *Sensors*, 17(8): 1733, (2017).
- [10] Dong B., He S., Hushu Y., Tianda W., Lvjun F., Guo T., Zhao Q., "Combined time and wavelength division multiplexing demodulation technique of fiber Grating sensor arrays using a tunable pulsed laser", *Applied Optics*, 46(7): 1015-1018, (2007).
- [11] Bodendorfer T., Muller M., Hirth F., Koch A., "Comparison of different peak detection algorithms with regards to spectrometric fiber Bragg grating interrogation systems", *In Proceedings of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT 2009): Istanbul, Turkey*, (2009).
- [12] Yücel M., Öztürk N. F., Gökteş H. H., Gündüz A. E., "Design of a fiber Bragg grating based temperature sensor", *IEEE 24th Signal Processing and Communications Applications Conference*, Zonguldak, 669-672, (2016).
- [13] Yücel M., Öztürk N. F., Torun M., "Fiber Bragg ızgara sensor dizisi tabanlı sıcaklık ölçüm sistemi tasarımı ve uygulaması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3): (2017).
- [14] Yücel M., Öztürk N. F., "Real-time monitoring of railroad track tension using a fiber Bragg grating-based strain sensor", *Instrumentation Science & Technology*, . 46(5): 519–533 , (2018).
- [15] Yücel M., Torun M., Burunkaya M., "Fiber Bragg ızgara tabanlı sensör sistemlerinde sinyal gürültü oranının iyileştirilmesi", *IEEE 25th Signal Processing and Communications Applications Conference*, Antalya, (2017).
- [16] Yucel M., Ozturk N. F., Gemci C., "Design of a fiber Bragg grating multiple temperature sensor", *Sixth International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP): Konya, Turkey, July 21–23*, (2016)