

# FOTAS Projesi: Fiber Optik Kablolarla Sismik Analiz

Mücahit Kavaklı - Araştırmacı, Hasan Yetik - Uzman Araştırmacı,  
Dr. Umut Uludağ - Başuzman Araştırmacı / BİLGEM UEKAE

**TÜBİTAK BİLGEM'de 2016 yılında, DAS teknolojisi kullanılan Fiber Optik Tabanlı Akustik Sensör (FOTAS) Projesi'ne başlanmıştır.**

Günümüzde fiber optik (FO) kablolar haberleşme sistemlerinde yaygın ve etkin olarak kullanılan iletim hatlarıdır. Özellikle 90'lı yıllardan günümüze internet kullanımının artmasıyla birlikte çok hızlı büyüme sağlamıştır. Bu nedenle ülkeler fiber optik altyapısını sürekli genişletmektedir. Günümüzde fiber hatların uzunluğu dünyada milyonlarca km ile ifade edilirken Türkiye'de 404 bin km'lik fiber hat mevcuttur [1].

Yapılan bilimsel çalışmalar neticesinde fiber optik kablolar sadece veri iletimi için değil bir sensör olarak sıcaklık, basınç, gerilme gibi fiziksel ölçümlerin algılanmasında da kullanılmaktadır. Son yıllarda ise noktasal sensörlerden kurulu klasik ağlara kıyasla uzun menzilli hatların tüm konumlarının gerçek zamanlı ve yüksek çözünürlüklü olarak gözlemlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

FO sensörler, üretimden yapı sağlığı izlemeye, çevre ve sınır güvenliğinden boru hatlarında sızıntı tespitine, savunma teknolojilerinden sivil erken uyarı sistemlerine kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanım ve uygulama alanına sahiptir. Bu uygulamalarda FO sensörleri bir algılama dizini olarak kullanılmasına olanak sağlayan sistemlere literatürde Fiber Optik Dağıtık Akustik Algılama (DAS) denmektedir [2].

DAS, yeni ve benzer işi yapan sistemlere göre 100 km'yi aşabilen algılama menziline ve yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip, uygun fiyatlı, nispeten daha az bakım gerektiren, düşük güç tüketimli, sahada enerji ihtiyacı olmayan bir teknolojidir. Ayrıca haberleşme amaçlı kullanılan sıradan fiber kablolar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu sebeple kullanıma sunulacak birçok yerde hâlihazırda fiber optik

kabloların bulunması nedeniyle sahaya kurulumu en hızlı sistemdir. Çoğu fiber haberleşme hattında, yedek olarak tutulan bir dizi kullanılmayan fiber optik kablo bulunur. Bu kablolar herhangi bir veri iletişim yapılmaz ve literatürde karanlık fiber (Dark fiber) olarak anılır. Kullanım dışı olan bu fiberler DAS sisteminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yönüyle ülke sınırları, deniz ve okyanus tabanı, petrol boru hatları, karayolları ve demir yolları gibi yer ve bölgelerde DAS sisteminin kurulumu kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

DAS sistemlerinin kullanım alanı, ilgili optik/elektronik tasarımın geliştirilmesi, parametre değişimleri ve teknolojik gelişmeler sayesinde sürekli genişlemektedir. Yeni bir alan olarak sismik hareketlerin DAS sistemi aracılığıyla tespit ve analiz edilmesinde potansiyel bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde yer kabuğunda meydana gelen sismik hareketleri algılamak, analiz etmek amacıyla dünyanın farklı yerlerine üç uzamsal boyutta yer hareketlerini algılayan ve kaydeden sismometreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek bir sismometre ile depremin oluşturduğu dalgaları tespit etmek mümkün iken deprem hareketlerini, depremin yerini, büyüklüğünü ve topografik haritalanmasını çıkarmak gibi amaçlar için çok sayıda sismik algılayıcı içeren ulusal ve uluslararası boyutta sismik ağlar oluşturulmuştur. Ayrıca bu ağlardan gelen veriler analiz edilerek deprem/tsunami erken uyarı sistemleri geliştirilmek amacıyla Japonya, ABD, Türkiye gibi ülkelerde çalışmalar yapılmaktadır. Bu ve benzeri amaçlar için Türkiye'de sismik istasyonların kurulmasına 1970'lerde başlanmıştır. 2019 yılı Ekim ayı itibarıyla Türkiye'deki toplam ivmeölçer ve hızölçer sayısı 1100 civarındadır [3]. Bu sismik ağların sayılarını arttırarak daha hassas ölçümler yapmak için önemli bir yatırım gerekmektedir.

Sismometrelerin uygun yerlere yerleştirilmesi, uzun vadeli bakım maliyetleri, sismometreler ara-

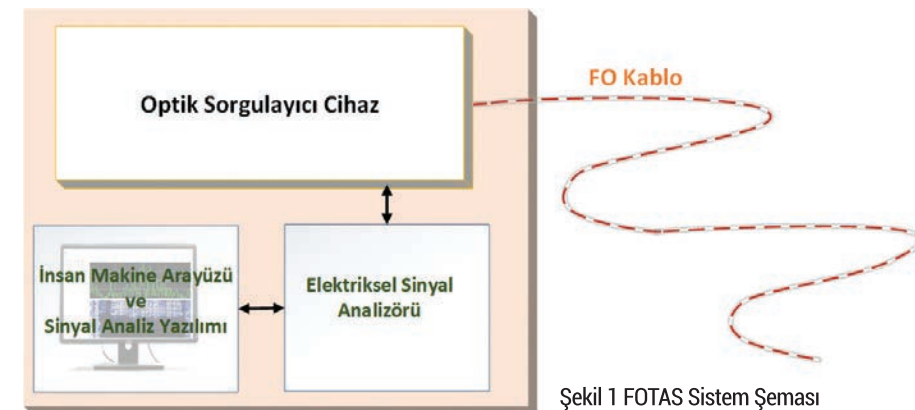
sındaki zaman senkronizasyonu, her sismometre için ayrı güç kaynağı ve veri iletim hattı gereksinimi önemli zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. Ayrıca nüfusu yoğun olan bölgeler ve deniz tabanı gibi yerlere fiziksel limitler dolayısıyla sınırlı sayıda sismograf yerleştirilebilmektedir. Bu noktada DAS sisteminin sismik araştırmalarda kullanılmasındaki önemli motivasyonlar olarak; fiber optik kabloların çoğu yerde mevcut olması, sahada fazladan güç gereksiniminin olmaması, tek bir merkezden yönetildiği için saat senkronizasyonunun basit olması, efektif olarak sensörler arası mesafenin çok yakın konumlandırılabilmesi, şehir içinde, deniz ve okyanus geçişlerindeki boş fiberlerin kullanılabilmesi sayılabilir.

## Nasıl Çalışıyor?

FO kablo üzerinde meydana gelen gerilme, akustik etki, kırılma ve kopma gibi fiziksel etkilerin tespitinde OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler, FO hatta gönderilen lazer darbelerinin yansıyan veya çeşitli saçılma mekanizmaları (Rayleigh, Brillouin veya Raman) ile geri saçılan kısmının zamana, frekansa ve faza bağlı analizine dayanmaktadır. Bu sayede ölçüm zamanı ve fiziksel etkinin meydana geldiği konumu ilişkilendirilerek olaylar konumlarıyla birlikte tespit edilmektedir.

TÜBİTAK BİLGEM olarak geliştirdiğimiz sistem, DAS uygulamalarında sıklıkla kullanılan yaklaşımlardan biri olan ve genlik tabanlı eşvreli OTDR (C-OTDR) sistemiyle Rayleigh geri saçılımının analizine dayanmaktadır. Çalışma prensipleri klasik OTDR ile benzer olan bu teknolojiye FO hatta iletilen lazer ışığı sebebiyle hat boyunca geri saçılan enerji hattın yakınındaki sismik aktivitelere veya mekanik hareketlere etkilenmektedir.

Sistemin temelini oluşturan ana bileşenler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 FOTAS Sistem Şeması

Optik Sorgulayıcı Cihaz (OSC): Lazer kaynağı, optik modülatör, optik kuplör, optik sirkülatör ve dengeli foto algılayıcı (DFA) gibi elemanlardan oluşan bileşendir.

Elektriksel Sinyal Analizörü (ESA): Foto algılayıcıdan gelen elektriksel sinyalin sayısallaştırıldığı, optik modülatörün darbe genişliği ve darbe tekrarlama sıklığı pa-



rametrelerinin ayarlandığı, gürültü giderimi, filtreleme gibi işlemlerin yapıldığı bileşendir.

Sinyal Analiz Yazılımı (SAY): ESA parametrelerinin belirlendiği, sinyal işleme algoritmalarının entegre edildiği ayrıca dosya kaydetme, silme gibi işlemlerinin yapıldığı bileşendir.

Lazer kaynağından çıkan ışığın bir kısmı istenilen uzamsal çözünürlük ve maksimum uzaklığa karşılık gelen darbe genişliğine ve darbe tekrarlama frekans değerine göre modüle edilir ve fiber hatta gönderilir, diğer kısmı optik yerel osilatör olarak kullanılır. Fiber optik hattın dönen Rayleigh saçılmaları ile optik yerel osilatörden gelen ışık çarpılır, sonrasında elde edilen ışık foto algılayıcının girişlerine verilerek optik sinyal elektriksel sinyale dönüştürülür. Elektriksel sinyal önce uygun filtrelemelerden sonra sayısallaştırıcıdan geçirilir. Son olarak sinyal işleme teknikleri uygulanarak hat üzerinde meydana gelen mekanik ve sismik etkiler tespit edilerek veri kütüphanesine kayıt yapılır.

Bu sistemde darbe genişliği, lazerin gücü, hattın uzunluğu ve darbe tekrarlama frekansı arasında önemli bir ilişki ve denge bulunmaktadır. Örneğin, gönderilen ışığın darbe genişliği artırıldığında oluşturulan sanal sensörler arası mesafe artmakta ve sensör sayısı azalmaktadır, fakat bu sayede daha fazla lazer gücü fiber optik hatta verildiği için daha uzun mesafeleri algılama imkanı elde edilmektedir. Bu nedenle DAS teknolojisinin kullanım alanına göre sistemin tasarlanması, parametrelerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Daha ayrıntılı bilgi için [5] makalesine bakılabilir.

### FOTAS, Depremleri Kayıt Altına Alıyor!

TÜBİTAK BİLGEM olarak 2016 yılından itibaren bu teknolojinin ülkemize kazandırılması ve hem sivil hem de askeri amaçlar doğrultusunda kullanılabilmesi amacıyla DAS teknolojisi kullanılan Fiber Optik Tabanlı Akustik Sensör (FOTAS) Projesi'ne başlanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde 2019 yılında tehdit sezimi uygulaması olarak prototip tasarımı ve testleri tamamlanmıştır. Geliştirilen FOTAS sisteminin TÜBİTAK-Sanayi işbirliği çerçevesinde ürünün satışa hazır ticari bir ürün haline getirilmesi amacıyla Kocaeli'nde bulunan bir firmaya teknoloji transferi gerçekleştirilmiştir. Şu an itibarıyla kullanıma hazır olan ürün ülkemizin farklı yerlerinde hizmet vermeye başlamıştır [6].

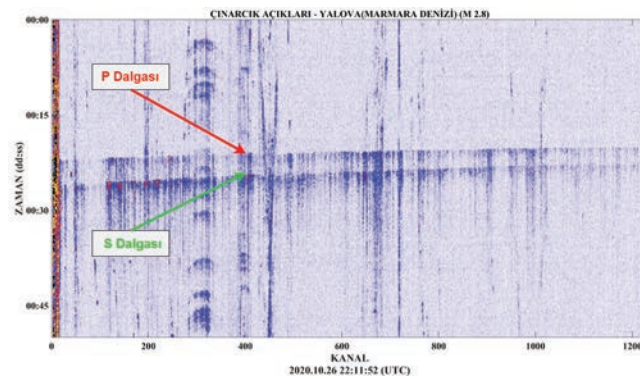
DAS teknolojisinin diğer uygulama alanlarında da ürün geliştirmeye yönelik olarak 2019 yılında deprem, patlama gibi sismik hareketlere neden olan olayların görece daha düşük maliyet ve kurulum ile tespit ve analiz edilmesi amacıyla çalışma başlatılmıştır. Bu kapsamda ilk etapta

elimizde bulunan mevcut 3 km'lik fiber optik hatlarımız ile veri alımına başlanmıştır. Daha sonra, aldığımız umut vaadeden sonuçlar neticesinde biri Gebze (Kocaeli) yerleşkemiz ile İstanbul ili arası 30 km uzunluğunda, diğeri Gebze yerleşkesinden İzmit Körfezi'ni geçerek Yalova ili arası 25 km uzunluğunda olmak üzere iki uzun menzilli fiber optik hattı çalışmalarımızda kullanılmaktadır. Bu hatlardan aralıksız olarak veri kayıt faaliyetlerine devam edilmektedir.

FOTAS sistemini sismik verileri algılama amaçlı kullanmaya başladığımız 2019 yılından itibaren, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) [7] ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün (KRDAE) [8] verilerine göre büyüklüğü 1.8 ile 6.7, hattımıza uzaklığı ise 16 ile 867 km arasında değişen yüzün üstünde deprem sistemimiz tarafından algılandı ve veri kütüphanemize kaydedildi. Bu veriler arasında Denizli, İstanbul, Elazığ, İzmir, Konya gibi illerimizde meydana gelen depremlerin yanı sıra Yunanistan, Romanya gibi çevre ülkeler ile Akdeniz ve Ege'de meydana gelen belirli büyüklüğünün üzerindeki depremler de bulunmaktadır.

FOTAS sistemiyle alınan bu verilerde deprem sonucu sismik hareket meydana geldikten sonra oluşan ilksel (Primary wave) ve ikincil (Secondary wave) dalgaları tespit edilmektedir. P dalgası, S dalgasına göre daha hızlı ilerleyen ancak etkisi görece düşük bir sismik dalgadır. Deprem bilimciler bu iki dalga arasındaki ilişkiyi kullanarak depremin uzaklığı, konumu ve büyüklüğü hakkında bilgi elde etmektedirler. Ayrıca bu bilgi deprem ve tsunami erken uyarı sistemlerinde de kullanılmaktadır.

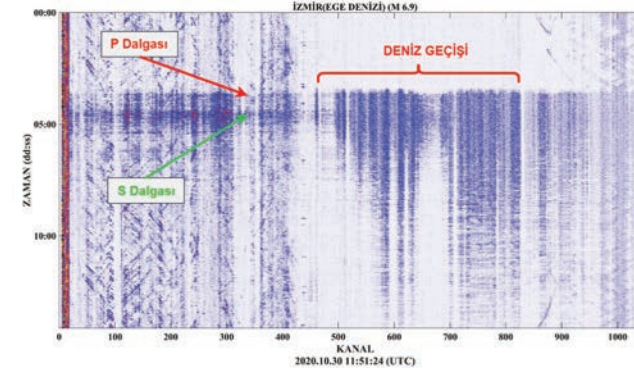
Şekil 2'de FOTAS sistemi ile 2020.10.26 - 22:11:52 tarih ve saatinde algılanan Çınarcık açıklarındaki depremin yaklaşık 30 km'lik fiber optik hattımız üzerindeki etkisi görülmektedir. Dikey eksen zamanı, yatay eksen ise 25 metre aralıklarla dizilmiş 1232 adet sanal sensörü ifade etmektedir. Bu sensör sayısı daha önce de ifade edildiği üzere ihtiyaca ve şartlara göre artırılıp azaltılabilmektedir. İlk olarak P dalga-



Şekil 2 Çınarcık Açıkları (M 2.8) Depremi: FOTAS Sistemi ile Algılanan Sinyal

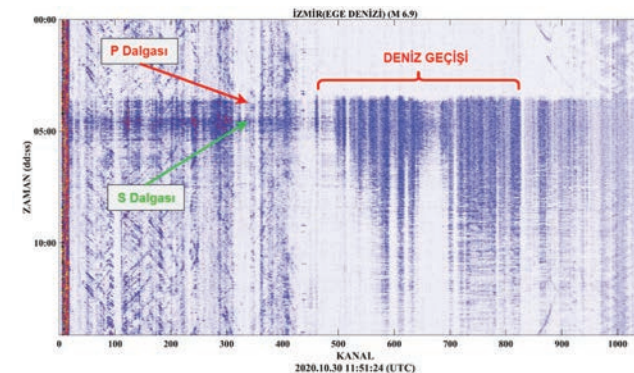
sının, sonrasında da S dalgasının hattı etkilediği görülmektedir. Ayrıca sensörlerin konumları gereği deprem merkez üssüne uzaklıkları değişiklik gösterdiğinden dolayı dalganın farklı zamanlarda geldiği görülmektedir. Bu özellikle sismometrelerin çok uzak kaldığı veya olmadığı karada veya denizdeki lokasyonlarda depremlerin tespitinde öncül rol oynayabilme potansiyelini içermektedir. Ayrıca bu şekilde FOTAS sisteminin algıladığı çevresel gürültü de görülmektedir.

Marmara bölgesindeki fay hatlarını belli noktalarda kesen yaklaşık 25 km'lik diğer hattımız deniz geçişini de içermesi nedeniyle çevresel gürültüye daha az maruz kalmaktadır. Şekil 3'te İzmir açıklarında 2020.10.30 - 11:51:24 tarih ve saatinde meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki depremin FOTAS sistemi ile algılandığı görülmektedir. Hattımıza uzaklığı yaklaşık 400 km olan deprem hemen hemen tüm sanal sensörlerimiz tarafından algılanmıştır. Şekilde deniz altından geçen fiber optik kabloda çevresel gürültü çok az iken şehir içinde kalan kısımda çevresel etkinin yüksek olduğu görülmektedir. Sistemimizdeki bu istenmeyen çevresel etkileri azaltmak veya gidermek için filtreleme, gürültü giderimi gibi sinyal işleme tekniklerinin yanında farklı teknikler de uygulanmaktadır.



Şekil 3 İzmir Açıkları (M 6.9) Depremi: FOTAS Sistemi ile Algılanan Sinyal

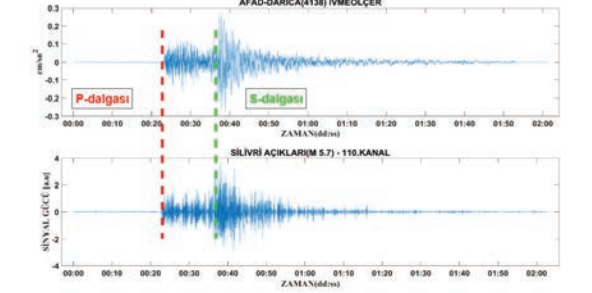
Şekil 4'te 2019.09.26 - 10:59:24 tarih ve saatinde Silivri (İstanbul) açıklarında meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki depremin yerleşkemiz içerisinde bulunan



Şekil 4 Silivri Açıkları (M 5.7) Depremi: FOTAS Sistemi ile Algılanan Sinyal

yaklaşık 3 km'lik hattımıza etkisi görülmektedir.

FOTAS sisteminde her sanal sensör ayrı ayrı ya da sensör dizisi olarak incelenebilmektedir. Şekil 5'te yerleşkemize yakın konumdaki AFAD'a ait Darıca'ya (Kocaeli) konumlandırılmış 4138 istasyon numaralı ivmeölçer ile FOTAS sisteminin sanal sensörü arasındaki ilişki görülmektedir. Sensör ve jeofonun birbirine yakın olması nedeniyle P ve S dalgalarının geliş zamanları arasında büyük oranda benzerlik bulunmaktadır.



Şekil 5 AFAD Kaydı ve FOTAS Sistemi 110. Kanal Karşılaştırması

Yukarıda açıklanan bağlamda fiber optik sistemlerin en belirgin özelliği maliyet etkin bir sensör dizisi olarak kullanılabilmesidir. Bu durum sismik hareketler hakkında hem uzamda hem de zamanda bilgi vererek birbirine uzak konumlandırılmış sismometrelerin sağlayamadığı uzamsal çözünürlüğü elde etmemizi sağlayacaktır. Bu sayede deprem hakkında daha fazla bilgi elde edileceği öngörülmektedir. Bu sistemin sismik araştırmalarda nispeten yakın zamanda kullanılmaya başlanmasına rağmen sistemin sürekli geliştirilmesi ve yeni sinyal işleme tekniklerinin uygulanmasıyla ilerleyen zamanlarda sismoloji alanında önemli etkileri olacağı düşünülebilir.

Sonuç olarak bu aşamada sürekli ve gerçek zamanlı meydana gelen sismik hareketlerin izlenmesi ve depremlerin tespiti noktasında geleneksel sismik algılama sistemlerini tamamlayıcı potansiyeli olduğu gözükmemektedir. TÜBİTAK BİLGEM bu alandaki çalışmalarına sanayi ve akademi paydaşlarıyla birlikte devam edecektir.

### Kaynakça

- [1] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2020, Haziran). Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü Üç Aylık Pazar Verileri Raporu 2020-Q2. BTK: <http://eng.btk.gov.tr/pazar-verileri>
- [2] Hartog, A. H. (2018). An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors. Boca Raton: Taylor and Francis Group.
- [3] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2021). AFAD. Türkiye Deprem Gözlem Sistemleri Çalışma Grubu: <https://deprem.afad.gov.tr/icerik?id=4&menulid=91>
- [4] M. R. Fernández-Ruiz, M. A.-L.-H. (2020). Distributed acoustic sensing for seismic activity monitoring. APL Photon.
- [5] Özkan, E., Erkorkmaz, T., Cesur, B., Yetik, H., Uludag, U., & Ölçer, İ. (2020). FOTAS (Fiber Optic Based Acoustic Sensing System): requirements, design, implementation, tests and results. SPIE Future Sensing Technologies. SPIE: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1011/1712.2581713?SSO=1>
- [6] SAMM TEKNOLOJİ. (2021). FOTAS. Samm: <http://www.samm.com/fiber-optic-akustik-algilama>
- [7] AFAD. (2021). Son Depremler. AFAD: <http://deprem.afad.gov.tr/sondepremler>
- [8] KRDAE. (2021). Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. KOERI: <http://www.udim.koeri.boun.edu.tr/zeqmap/osmap.asp>