

YAPI SAĞLIĞI İZLENMESİNE YÖNELİK ULUSAL ÖLÇME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ: İLK SONUÇLAR

B.AKPINAR¹, E.GÜLAL¹, A.A DİNDAR², K. GÜRKAN³, N.O.AYKUT¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
bakpinar@yildiz.edu.tr, egulal@yildiz.edu.tr, oaykut@yildiz.edu.tr

²Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
adindar@gtu.edu.tr

³İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul
kgurkan@istanbul.edu.tr

Özet

Mühendislik yapılarının hareketlerinin izlenmesi, yapı sağlığı ve afet yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Köprü, baraj, kule ve yüksek binalar gibi yapıların sağlığı ve güvenilirliği bu yapıların hareketlerinin izlenmesi, olası tehlikeli durumların zamanında tespit edilerek gerekli önlemlerin zamanında alınması ile sağlanabilir. Özellikle mühendislik yapıları başta olmak üzere tüm kritik yapıların inşası sırasında ve işletme evrelerinde durumlarının izlenmesi, bu yapılara etkiyen kuvvetlere karşı yapının verdiği tepkilerin ölçülerek analiz edilmesi ve düzensiz davranışların belirlenerek acil durum planlarının devreye sokulması afet yönetimi açısından da oldukça önem kazanmaktadır.

Bu çalışma ile günümüzde mühendislik yapılarının izlenmesi için aktif olarak kullanılan yüksek maliyetli çift frekanslı jeodezik GNSS alıcılarına alternatif olacak şekilde, ekonomik GNSS alıcıları, ivme ölçer ve eğim ölçerin entegrasyonlarının sağlanacağı bir sistem geliştirilmesi, ölçme sisteminden alınan verilerin kablosuz olarak bilgisayar ortamına aktarılması, gerçek zamanlı olarak yapılacak değerlendirme ve analizlerin ardından sonuçların web ortamında online olarak ilgili kullanıcılara sunulması amacıyla donanım ve yazılımdan oluşan bir sistem tasarımı ve üretimi planlanmaktadır. Günümüzde ülkemizde üretilmiş bu tip bir ulusal yapı izleme sistemi mevcut değildir. Bu çalışma ile donanım ve yazılımdan oluşan, ülkemizde, ülkemiz mühendisleri tarafından geliştirilmiş bir ulusal "mühendislik yapıları izleme sistemi" oluşturulması ve bu sayede ilgili alanda öncelikle yurtdışına ödenen yüksek bedellerin önüne geçilmesi ve özellikle bu alanda yazılım konusunda yurtdışı bağımlılığımızın azaltılması ve ülke gelişimine katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yapı sağlığı izleme sistemi, GNSS alıcıları, ivme ölçer, eğim ölçer

NATIONAL MEASUREMENT SYSTEM FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING PROJECT: FIRST RESULTS

Abstract

Monitoring the movements of engineering structures has a great importance in terms of structural health and disaster management. Health and reliability of the structures such as bridges, dams, towers, and high buildings can be achieved by monitoring these structures, detecting the potentially dangerous situations and taking precautions on time. Monitoring the structures during the construction and operation stages,

HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu
8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu
19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

analyzing the responses of the structures to the external forces and determining the irregular behaviors of the structures is very important in terms of disaster management.

In this study, it is planning to design a new measurement system by combining the economical GNSS receivers, accelerometers and tilt meters. The data collected by this measurement system is transferred into a server computer by using wireless communication technology. Besides the hardware component of the measurement system, a new monitoring and analysis software is designed in this project. Data transferred by measurement system hardware is processed and analyzed by analysis software. Finally, the results are published on a web portal for authorized users. Today, there is no such a national structural health monitoring system in our country. In this study, it is planning the designing a national measurement system and developing a national structural health monitoring software. Thus, it is intended to cut of our dependence of foreign countries in this area and to contribute to the development of the country.

Keywords: *Structural health monitoring system, GNSS receivers, accelerometer, tilt meter.*

1. Giriş

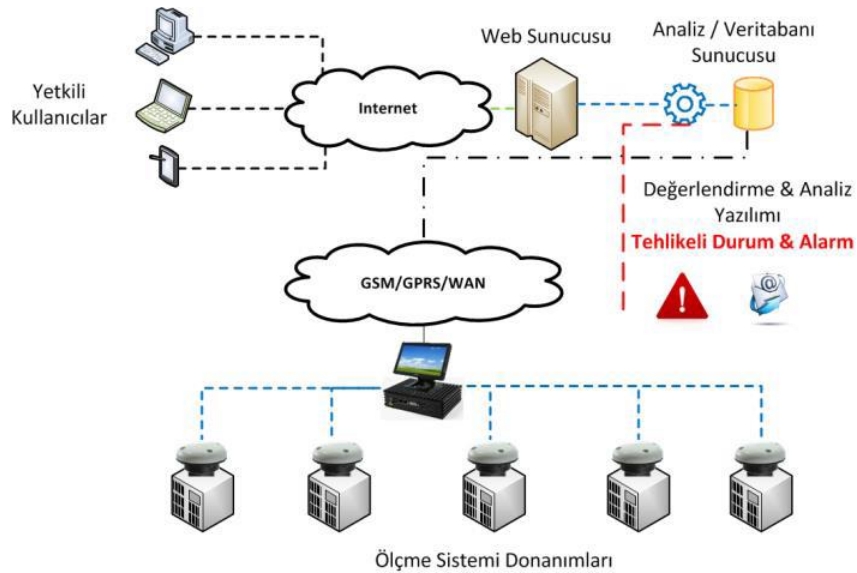
Mühendislik yapılarının sağlığı ve güvenilirliği, bu yapıların sürekli izlenerek olası tehlikeli durumların zamanında tespit edilmesi, gereken önlemlerin zamanında alınması ile sağlanabilir.

Günümüzde mühendislik yapılarının hareketlerinin izlenmesinde Mühendislik Ölçmeleri bilim dalı çerçevesinde Harita Mühendisleri etkin olarak görev almaktadır. Jeodezik ölçme yöntemleri olarak da adlandırılan GNSS alıcıları, Total Station ekipmanları, ve Nivolar kullanılarak yapılarda meydana gelen deformasyonların belirlenmesi ile ilgili yurtiçi ve yurtdışında yapılmış/yapılmakta olan çalışmalar bulunmaktadır. Jeodezi ölçme yöntemleri ile yerinde yapılan mühendislik yapılarının deformasyon ölçümleri daha sonra ofis ortamında değerlendirmek için çok sayıda analiz ve yaklaşım bulunmaktadır. Jeodezik ölçme yöntemleri ile yapıda meydana gelen deplasmanlar belirlenebilmektedir. Ancak izlenen mühendislik yapısının dinamik davranış özellikleri ve davranış şekline bağlı olarak sadece jeodezik ölçme ekipmanları nitelikli ve nicelikli bilgiler elde etmek mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda jeodezik ölçme ekipmanları yanında, ivme ölçer ve eğim ölçer gibi sistemler kullanılarak elde edilen zengin veri kümesinin analiz edilmesi ile yapı hareketleri ile ilgili daha gerçekçi bilgiler üretilmektedir (Çelebi, 2000; Erdoğan vd., 2007; Meng vd., 2007; Yi vd., 2013; Nickitopoulou vd.,2006; Erdoğan, Güral, 2013).

Jeodezik ölçme ekipmanları, ivme ölçer ve eğim ölçer gibi farklı ölçme sistemlerinin çalışma prensipleri de birbirinden farklı olduğundan, özellikle bu tip farklı ölçme sistemlerinden elde edilen verilerin işlenmesinde bir takım sorunlar ile karşılaşmaktadır. Çoğu zaman izlenen yapıda beklenen hareketlere de bağlı olarak yüksek frekanslarda ölçüm yapılması gerekmekte, sürekli ve uzun süreli gözlem yapıldığında da ortaya büyük boyutta veriler ile çalışmanın zorlukları çıkmaktadır. Genellikle sahada ölçümlerin yapılıp ofis ortamında değerlendirmelerin yapıldığı bir çalışma sisteminde çoğu zaman büyük boyutlu verilerin

değerlendirme ve analizleri uzun süreler almakta, bu da mühendislik yapılarının sağlığı ve güvenliği açısından önemli olan tehlikeli durumların zamanında tespit edilmesi konusunda zafiyetlere neden olmaktadır.

Bu çalışmada, TÜBİTAK tarafından desteklenmekte olan 115Y250 nolu proje kapsamında yapılan çalışmalar özetlenmektedir. Bu proje ile mühendislik yapılarının izlenmesinde kullanılan geleneksel ivme ve eğim ölçerlerin modern GNSS alıcıları ile entegrasyonunu sağlayan, farklı ölçme sistemlerinden elde edilen verilerin, proje kapsamında hazırlanacak olan değerlendirme yazılımına anlık olarak aktarılmasını ve bu sayede sahada ölçüm yapılırken aynı zamanda ofis ortamında ölçüm sonuçlarının gerçek zamanlı izlenmesini sağlayacak bir ölçme sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Ölçme sistemi genel şeması

2. Yöntem

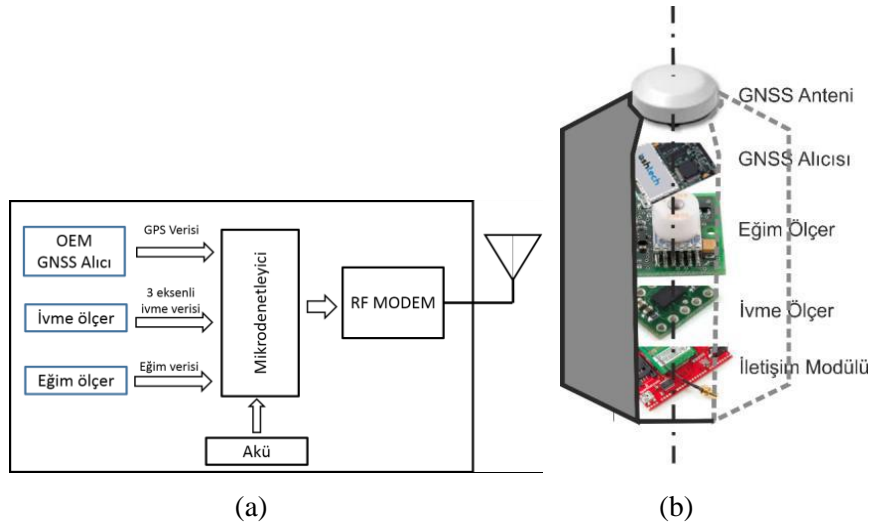
Bu çalışma kapsamında mühendislik yapılarının hareketlerinin izlenmesi amacıyla donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşan bir ölçme sistemi geliştirilecek ve proje sonunda söz konusu ölçme sisteminin çalışır durumda bir prototipi üretilmiş olacaktır.

Proje kapsamında donanım bileşeni için GNSS alıcısı, ivme ölçer ve eğim ölçer gibi farklı ölçme ekipmanlarının yapıları incelenecek, bu sistemlerin tek bir donanım olarak entegrasyonları sağlanacaktır. Farklı ölçme ekipmanlarının donanımsal olarak entegrasyonları ile oluşturulacak bu yeni ölçme sistemi ile toplanacak veriler, kablosuz haberleşme teknolojileri ile çalışma alanında bulunan bir mini PC ye aktarılacak, burada yapılacak ön değerlendirmelerin ardından, verilerin analizlerinin yapılması için bir

analiz / veri tabanı sunucusuna gönderilecektir. Geliştirilecek yazılım ile de yapıdaki ölçme sistemi tarafından sunucuya gönderilen veriler otomatik olarak değerlendirmeye alınacak, elde edilecek sonuçların web üzerinden ilgili kullanıcılara sunumu ayrı bir web sunucusu tarafından yapılacaktır (Şekil 1).

2.1. Ölçme Sistemi Bileşenleri

Tasarlanacak olan ölçme sistemin donanımına ait blok diyagramı Şekil 2a'da sistemin kesiti de Şekil 2b'de gösterilmektedir. Sistemde bulunan mikrodenetleyici, GNSS bilgisini 1 Hz, 3-eksene ait ivme bilgisini en az 20 Hz, eğim ölçer tarafından belirlenen roll ve pitch açılarını en çok 10 Hz ile alıp işleyecek, uygun veri paketine dönüştürerek RF-Modem üzerinden mini PC'ye gönderecektir. Farklı ölçme ekipmanlarından farklı frekanslarda alınan verilerin zaman senkronizasyonu mikrodenetleyici tarafından yapılacak ve senkronize edilmiş veriler bir pakette birleştirilerek mini PC ye gönderilecektir. Bu tip çalışmaların en önemli konularından biri olan zaman senkronizasyonu Şekil 2a'da gösterilen mikrodenetleyici tarafından yapılacaktır.



Şekil 2. (a) Ölçme sistemi blok diyagramı (b) Ölçme sistemi kesit görünümü

Söz konusu proje kapsamında günümüze kadar; yukarıda açıklanan donanım bileşenlerinden OEM GNSS board ile ölçüm yapılabilmesi için gereken elektronik devre tasarım ve üretimleri İstanbul Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü imkanları ile tamamlanmış, Yıldız Teknik Üniversitesi çatısında bulunan pilye üzerinde jeodezik testleri yapılmış ve İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü bünyesinde bulunan sarsma tablası ile yapı sağlığı izleme çalışmalarında kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla yapılan testler tamamlanmıştır (Akpınar v.d; 2016).



Şekil 3. Elektronik devre ile entegrasyonu yapılan GNSS board.



Şekil 4. Üretilen sistem ile yapılan jeodezik testler



Şekil 4. Üretilen sistem ile yapılan sarsma tablası testleri

2.2. Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi

Ölçme sisteminden GNSS verileri 1 Hz, 3 eksenli ivme ölçer verileri 20 Hz, eğim ölçer verileri de 10 Hz frekansında toplanıp değerlendirilmek üzere sunucuya gönderilecektir. Özellikle uzun süreli gözlemlerin yapıldığı mühendislik yapılarında analiz edilmesi gereken veri boyutu çok fazla olacaktır. Bu da, yapı üzerinde herhangi bir tehlikeli durumun gözlenmediği zamanlarda sunucu üzerinde gereksiz bir yük oluşturacak, özellikle 3 eksenli 20 Hz ivme ölçer ve 2 eksenli 10 Hz eğim ölçer verilerinin sunucuda sürekli depolanması gereksiz depolama alanı artmalarına neden olacaktır. Bu nedenle analiz algoritmaları ivme ölçer ve eğim ölçer verileri için maksimum 24 er saatlik veri grupları şeklinde çalıştırılacak, analiz edilen veri grubu içinde beklenenin dışında bir hareket gözlenmemesi durumunda, analizi tamamlanan ivme ölçer ve eğim ölçer ham verileri silinecek, bu verilere ilişkin sadece analiz sonuçları sunucuda depolanacaktır.

İzlenen yapının niteliğine göre yukarıda bahsedilen “beklenen hareket” kavramı farklılık göstermektedir. Bu nedenle oluşturulacak sistemde, kullanıcıların eşik değer tanımlamalarına imkân verilecektir. Bu sayede tanımlanan eşik değerinin altında hareketin gözlemlendiği veri gruplarının sunucuda gereksiz yere depolanmasının önüne geçilmiş olacaktır. Örneğin yüksek yapılar için konfor değeri olan 0.05 g den küçük ivme değerlerinin ölçme sistemi tarafından sunucuya iletilmesi durumunda bu verileri 24 saatlik periyotlar ile analiz edilecek ve analiz sonuçları depolanacaktır. 0.05 g nin üzerinde ivme değerlerinin elde edilmesi durumunda, eşik değerinin üzerindeki ivme değerleri analiz edildikten sonra da veri tabanında sürekli

depolanacak, silinmeyecektir. Örnek olarak verilen 0.05 g gibi eşik değerlerin seçimi yapı karakteristiklerine göre değişim göstereceğinden, kullanıcı tarafından tanımlanabilir yapıda olacaktır.

Geliştirilecek yapı sağlığı izleme yazılımı hem online değerlendirme ve analize imkan verecek hem de ölçme ekipmanlarından uzun süreli toplanan verileri zaman serisi analizi ile incelenmesi sağlanacaktır. Geliştirilecek sistem aşağıdaki açıklanan iki yöntemin de kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında Tübitak tarafından desteklenen 115Y250 nolu “Yapı Sağlığı İzlenmesine Yönelik Ulusal Ölçme Sistemi Geliştirilmesi” başlıklı proje kapsamında günümüze kadar yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Proje kapsamındaki donanım bileşenleri ile ilgili çalışmalar tamamlanmış olup, üretilen ilk protipin testleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ölçme sistemi ile elde edilen verilerin analiz edilerek sunulması ile ilgili yazılım çalışmaları devam etmektedir. Projenin tamamlanması ile donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşan ulusal bir yapı sağlığı izleme sistemi hayata geçirilmiş olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, 115Y250 no.lu “Yapı Sağlığı İzlenmesine Yönelik Ulusal Ölçme Sistemi Geliştirilmesi” konulu TÜBİTAK 1005 Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Projesi kapsamında yapılmıştır.

Kaynaklar

- Çelebi, M. (2000)., GPS in dynamic monitoring of long-period structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20, 477-483.
- Erdoğan, H., Akpınar, B., Gülal, E., Ata, E. (2007). Monitoring the dynamic behaviors of the Bosphorus Bridge by GPS during Esurasia Marathon, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 14(4), 513-523.
- Erdoğan, H., Gülal, E. 2013. ”Ambient Vibration Measurements of the Bosphorus Suspension Bridge by Total Station and GPS”, *Experimental Techniques*, 37:3,16–23, doi:10.1111/j.1747-1567.2011.00723.x.
- Meng, X., Dodson, A.H., Roberts, G.W. 2007. “Detecting bridge Dynamics with GPS and triaxial accelerometers”, *Engineering Structures*, 29, 3178-3184, doi: 10.1016/j.enstruct.2007.03.2012.
- Nickitopoulou, K., Protopsalti, K., Stiros S. 2006. “Monitoring dynamin and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: Accuracy, limitations and promises”, *Engineering Structures*, 28, 1471-1482, doi:10.1016/j.engstruct.2006.02.001.
- Yi., T.H., Li, H.N., Gu, M. 2013. “Experimental assessment of high-rate GPS recievers for deformation monitoring of bridge”, *Measurement*, 46, 420-432, doi: 10.1016/j.measurement.2012.07.018.

Akpınar. B., Gülal, E., Dindar A.A., Gürkan, K., Aykut N.O., (2016), “Tübitak 115Y250 nolu Yapı Sağlığı İzlenmesine Yönelik Ulusal Ölçme Sistemi Geliştirilmesi Projesi Web Sitesi”, <http://115y250.com/>