

NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI SİSTEMLERLE KÖPRÜLERİN YAPISAL
SAĞLIĞININ İZLEMESİ
MONITORING THE STRUCTURAL HEALTH OF BRIDGES WITH IOT BASED SYSTEMS

Abdallah Tariq Hasan ALABED¹

¹*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.*

Tarık ÖZKUL²

²*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.*

ÖZET

Her yıl yeni köprüler yapılıyor ve bazı ülkelerde bu köprülerin bakımı sıklıkla göz ardı edilmektedir. Modern kablosuz sensör teknolojileri, otomatik köprü güvenliği izleme sisteminin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Sensörler titreşim, su seviyesi ve yangın verileri gibi çeşitli bilgileri toplamak için kullanılabilir. Bu veriler köprülerin yapısal sağlık durumunun değerlendirilmesinde yararlı olacaktır. Bu çalışma, köprü izleme cihazlarının seçimine yönelik sistemi basitleştirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen sistemin temel amacı, üst geçit ve köprülerde oluşabilecek kazaları veya yapısal felaketleri önleyebilecek bir sistem oluşturmaktır, ayrıca şu anda kullanımda olan yapıların bütünlüğünün sürekli, gerçek zamanlı olarak bilinmesi, güvenlik bakımının yapılmasını sağlamak ve halihazırda kullanımda olan binaların ömrünü uzatmaktır. IoT (Internet of Things) yani **Nesnelerin İnterneti** adı verilen teknoloji, köprünün durumunu gerçek zamanlı olarak değerlendirmek için kullanılmaktadır. Toplanan bilgiler, yöneticilerin köprünün durumunu gerçek zamanlı olarak takip edebilmeleri için bir veri tabanına gönderilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Köprü Güvenliği İzleme, Köprü Durumu, IoT, Kablosuz Sensör Ağı, GSM, Nesnelerin İnterneti.

1. GİRİŞ

Yapısal sağlık izleme (Structural Health Monitoring), bir yapının yapısal sağlığının çeşitli yöntemlerle belirli bir süre boyunca düzenli olarak gözlemlenmesidir. Köprüler ulaşım sisteminin can damarını oluşturan yapılar olup, 50, 60, 70 yıl gibi bir tasarım ömrü ile hizmet verecek şekilde tasarlanırlar. Bugün günümüzde ABD, Kanada ve Avrupa'da tasarım ömrünü tamamlamış yaklaşık 1,5 Milyon köprü bulunmaktadır. Özellikle bu tasarım ömrünü tamamlamış yapıların yapısal sağlığının izlenerek, olumsuz durumda acil önlem alınması çok önemli bir gündem maddesi oluşturmaktadır.

Davranışını daha iyi anlamak için neden yapısal izleme istediğinizi net bir şekilde bilmeniz gerekmektedir. Yapısal izleme, bir yapının veya bileşenin günlük kullanımda güvenli olup olmadığını öğrenmek için kullanılır. Normalde görüş alanı dışında olan alanlarda bile potansiyel sorunların, yapıya zarar vermeden önce tespit edilmesi için kullanılabilir. Yapısal izleme aynı zamanda bir yapının en iyi şekilde nasıl korunacağını ve tasarım ömrünün nasıl uzatılacağını anlamak için de kullanılabilir. Köprüler de insanlar gibi doğal olarak yaşlanır, ancak parasal sistemlere dayalı bir stratejinin uygulanması ve hasarın erken aşamalarda gerçek zamanlı olarak belirlenmesi için bunların analizi, yapısal sağlığın izlenmesi olarak tanımlanmıştır. Hastalık aramak yerine, yara izi bırakan çatlaklar ve korozyon gibi yapısal hasarları aramalıyız. Dünya çapında göreceli olarak yüksek sayıda köprü çökmesinin gözlemlenmesiyle birlikte yapısal sağlığın izlenmesi büyük önem kazanmıştır. Örnek olarak, Portekiz'deki Hintze Ribeiro Köprüsü, ABD'deki I-35W Mississippi Nehri köprüsü ve İtalya'daki Morandi köprüsü gibi. Köprüler bir ülkenin ulaşım ağının önemli bir unsurudur ancak inşa edilmesi ve bakımı aşırı derecede pahalıdır. Ve sürekli olarak beton yapılarıdaki takviye çubuklarının korozyonunun, artan trafik hacminin ve aşırı yüklemenin veya sadece genel bozulma ve eskimenin zararlı etkilerine maruz kalmaktadırlar. Köprü sağlığı izleme, daha fazla insan hayatını kurtardığı için çok önemlidir. IoT kullanarak yapılan köprü sağlığı izleme sistemleri bize kolayca çok fazla hayat kurtarabileceğimiz ve kayıpları önleyebileceğimiz konusunda ön gösterge sağlamaktadır. Çalışmaların en temel amaçları Köprü güvenliğini sağlamak, kötü hava koşullarında kazaları önlemek, köprünün etkinliğini artırmak ve finansal ve teknolojik kısıtlamaları ortadan kaldırmaktır. Bu inceleme makalesinde köprü izleme sistemlerine ilişkin çeşitli fikirler sunulmaktadır. Pek çok araştırmacı, bir tren veya araç köprü üzerinde seyahat ettiğinde sistemi otomatik olarak uyandıran ve bir enerji toplama mekanizması [1] [2] [3]

aracılığıyla uyarlamalı olarak güç sağlayan ve görevi tamamladıktan sonra uyku moduna geçen birçok fikir ortaya atmıştır. Sürekli bir güç kaynağı ile geçen yükü izlemek için bir olay algılama sistemi devreye alınmıştır. Enerji toplama teknolojisi araştırılmış ve köprü titreşimleri için çok sayıda prototip geliştirilmiştir ve köprülerdeki yapılan testler, geçen araçları etkili bir şekilde tespit edebildiğini göstermiştir [4] [5] [6].

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

İncelenen çalışmaların temel amacı, herhangi bir yapının yapısal sağlığını takip etmek için çoklu sensörler kullanarak yapıların deformasyonu izlemek için kullanılması ve bu verilerin kablosuz sensör ağları aracılığı ile bir merkeze iletilerek değerlendirilmesidir. Önerilen sistemler genel olarak, ultrasonik sensör, ivme (titreşim) sensörü, IR sensörü, yangın sensörü ve sıcaklık sensöründen oluşan bir sensör ünitesi kullanılarak oluşturulmuştur. [7]'de su seviye sensörü, açı sensörü ve çatlak tespit sensörü kullanılmıştır. [8]'deki köprü güvenliği izleme ve takip sistemi, DHT11, Soil-Moisture ve Load-Cell sensörleri sayısında toprak nemi, sıcaklık, havadaki nem oranı ve köprü üzerindeki yük gibi çeşitli faktörleri algılayabilmektedir. [9]'de Flex ve su seviye sensörleri kullanılmıştır. Flex sensörünü köprünün eğim açısını ve çatlakları önlemek için kullanmışlardı. Su seviye sensörü köprünün altına ve boşlukların içine yerleştirilerek su seviyesini anlık olarak takip etmişlerdi. Tüm sistemler uzun ve kısa mesafeli kablosuz veri iletişimi için IoT içermekteydi.

2.1 Sensör listesi

Bu bölümde kablosuz sensör ağları aracılığı ile verileri toplanan sensörler incelenecektir. Kablosuz sensör ağlarında kullanılan sensörlerin, pil ile uzun süre çalışabilecek tipte düşük güç harcamaları, maliyetlerinin makul seviyede olması, gönderdikleri verilerin nispeten küçük boyulu olmaları idealdir. Bu tür sensörlerin köprü izleme amaçlı olarak kullanmanın birçok avantajı vardır; sensörler kablosuzdur, bu da sensörden veri toplama sisteminize kablo aktarmanıza gerek olmadığı anlamına gelir, nispeten küçüktürler, böylece kolayca kurulabilirler ve ayrıca nispeten düşük maliyetlidirler, böylece aynı fiyata daha fazla sensör kurulabilir.

2.1.1 RTD Sensörleri

RTD'ler, direnci sıcaklıktaki dalgalanmalarla kesin ve öngörülebilir bir şekilde değişen bir platin nikel veya bakır element kullanır, dirençteki bu değişiklik daha sonra bir sıcaklık okumasını ilişkilendirmek için kullanılır. Ancak RTD kullanımında devreye doğası gereği daha fazla direnç katan daha uzun kablolar veya konektörler takıldığında, RTD'nin doğruluğu üzerinde olumsuz bir etki olacaktır, dolayısıyla bu artan direnci telafi etmenin bir yolu olmalıdır. Farklı kablolama konfigürasyonlarının devreye girdiği yer burasıdır. RTD lerin verilerini toplama iki kablolama konfigürasyonu, üç kablolama konfigürasyon ve dört kablolama konfigürasyonu gibi değişik kablolama konfigürasyonları bulunmaktadır [10]. Dört telli bir RTD, RTD elemanın direncini telin direncinden tamamen izole etmekte olup en doğru sonuçları üretmektedir. Dört telli köprü tasarımı, kablolarda veya aralarındaki konektörlerde bulunan tüm direnci tamamen telafi etmekte ve sıcaklığı direnç yerine voltaj sinyaline göre ölçmektedir. Dört telli RTD konfigürasyonlarının öncelikli olarak Laboratuvarlarda ve yüksek doğruluğun gerekli olduğu diğer ortamlarda kullanılmasının nedeni de budur [11].

2.1.2 Ultrasonik Sensörleri

Ultrasonik sensörleri tıpkı yarasaların veya yunusların çevrelerini algılamak için sonar kullandığı gibi insanın duyabileceği aralığın üzerindeki frekanslardaki ses dalgalarını kullanarak mesafeyi ölçerler. Sensör havaya yüksek frekanslı bir darbe yayar ve ardından aynı frekans darbesinin bir nesne tarafından geri yansıtılmasını dinler [12]. Sensörden o nesneye olan mesafe, gönderme ve alma arasında geçen sürenin ses hızıyla çarpılıp 2'ye bölünmesiyle hesaplanır.

$$mesafe = \frac{süre \times ses \text{ hızı}}{2}$$

2.1.3 İvme Sensörleri

İvme Sensörü (Akselerometre) titreşim (vibration/vibrasyon) sensörü olarak da geçmektedir. Temel prensip olarak ivme şiddetini ölçerler ve bunun sonucunda da kendi ölçüm aralığına göre bu ivme değerini analog bilgi olarak bağlı sistemlere aktarabilmektedirler. Bununla birlikte vibrasyon sensörleri, sismik aktivitelerin takibinde de kullanılabilir ve olası deprem durumunda sistemlerin ve tesislerin korunması için emniyet bariyeri olarak kullanılabilir [13].

2.1.4 Load Cell

Load Cell veya yük hücresi, giriş kuvveti, mekanik yükünü, ağırlığını, gerilimini, sıkıştırmasını veya basıncını ölçülebilir bir elektrik çıkış sinyaline dönüştüren bir dönüştürücüdür.

2.1.5 Sıcaklık ve Nem Sensörleri

Sıcaklık ve nem sensörü, hem nemi hem de hava sıcaklığını algılayan, ölçen, sıcaklık ve nemi elektrik sinyallerine dönüştürebilen ve raporlayan düşük maliyetli elektronik cihazlardır. Sıcaklığı ölçmek için özel bir NTC ve sıcaklık ve nem değerlerini seri veri olarak çıkarmak için 8 bitlik bir mikro denetleyiciyle birlikte gelmektedirler [14].

2.1.6 IR Sensörü

IR (infrared sensor) kızılötesi sensörü, çevresindeki kızılötesi radyasyonu algılayan, insan gözünün göremediği kızılötesi radyasyonu tespit edebilen ve bir elektrik sinyali veren bir cihazdır. Kızılötesi sensörü, bir nesnenin ısısını ölçmenin yanı sıra hareketi de algılayabilmektedir [15].

2.1.7 Gerinim Sensörü

Gerinim Sensörü (Strain Gauge), ölçülen elektrik direnci gerilimdeki değişikliklere göre gerinimi değişen bir sensördür [16]. Gerinim, uygulanan bir gerilimden kaynaklanan malzemenin deformasyonu veya yer değiştirmesidir.

2.1.8 Esnek Flex Sensörleri

Yapısal bükülmelerin tespitinde Flex sensörler kullanılmaktadır [17]. Esnek sensörü, yanlış yönde bükülecek kusur miktarını ölçmek için kullanılan bir sensör türüdür. Herhangi bir bükülme bulunursa bu sensörler sayısında kolayca tanımlanabilir.

2.1.9 IoT Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti veya IoT, diğer IoT cihazlarına ve buluta bağlanan ve veri alışverişi yapan, birbiriyle ilişkili cihazlardan oluşan bir ağdır. IoT cihazları genellikle sensörler ve yazılımlar gibi teknolojilerle donatılmıştır ve mekanik ve dijital makineler ile tüketici nesnelerini içerebilmektedir [18]. IoT ile veriler, insandan insana veya insandan bilgisayara etkileşim gerektirmeden bir ağ üzerinden aktarılabilir. IoT ekosistemi, ortamlarından elde ettikleri verileri toplamak, göndermek ve bunlar üzerinde işlem yapmak için işlemciler, sensörler ve iletişim donanımı gibi gömülü sistemleri kullanan web özellikli akıllı cihazlardan oluşmaktadır. IoT cihazları, topladıkları sensör verilerini, IoT cihazlarının veri gönderebileceği merkezi bir merkez görevi gören bir IoT ağ geçidine bağlanarak paylaşmaktadır. Bu makaledeki incelediğimiz çalışmalarda köprülerin yapısal sağlığının izlenmesi için hep IoT tabanlı sistemler kullanılmıştır.

3. TARTIŞMALAR

[19] Prototipinde yük hücresi ve ivme sensörü kullanılmış olup, sensör verilerinin yakalanması, sunucuya yüklenmesi ve bunların bir ekran ünitesinde görüntülenmesi sırasında, birikmiş verilerin gerçek zamanlı çizimi, IoT ThingSpeak platformunda oluşturulan kanallarda gerçekleşmektedir. Bulut sunucusuna kaydedilen tüm verilerde bir tarih damgası bulunmaktadır. İndüklenmiş titreşim (5.87 m/sec2avg, 18 m/sec2max and 7.04 m/sec2rms) ile bir numune yükü (56.21 gramsavg 590 gramsmax, and 147.66 gramsrms) için ölçeklenebilir bir sistem geliştirilmiş ve test edilmiştir. Bilgisayar donanımına ve internet hızına bağlı olarak iyi derecede doğruluk ve kabul edilebilir zaman gecikmesinde bulunmuştur. Köprü parametrelerini belirli aralıklarla izlemek, sunucuya giriş yapmak ve yapısal sağlığı değerlendirmek için kullanılabilir. [17]'de sensörlerin gerçek zamanlı olarak aralarında iletişim kurmak için bir IoT köprü izleme sistemi geliştirilmiştir. Sistem Ultra Sonik, Titreşim ve İvme sensörü gibi çeşitli sensörlerin yardımıyla tasarlanmıştır. Ayrıca Arduino mega, mikrodenetleyici ve IoT modülü kullanılmıştır. Sensörler köprü yüzeyinde test edilmiş ve beklenen sonuç verilmiştir. Köprü algoritması, ilgilenilen nesnenin ana hatlarını çizerek ve aracın köprü üzerindeki titreşimini, çatlaklarını, bükülmesini, ivmesini ve yükünü tanımlayarak değerleri tespit etmede başarılı olmuştur.

[9] Bu çalışmada da, uzun ve kısa mesafe kablosuz veri iletişimi için IoT kullanılmıştır. Ayrıca Flex ve su seviyesi sensörleri kullanılmış olup ve o sensörlerin çıkışını görüntülemek için arayüz LCD kullanılmıştır. Sensörler ve LCD, Atmega ile arayüzlenmiş ve verileri sunucuya göndermek için bir wi-fi modemi kullanılmış olup sensörlerin okumalarını takip etmek için 'THINGSPEAK' kullanılmıştır. Sistemin köprüünün yapısal durumu ve olası hasar hakkında gerekli bilgileri sağlamasıyla çalışmanın amacına ulaşılmıştır.

[8] Çalışmasında, kablosuz teknoloji ve su seviyesi sensörü yardımıyla köprülerin güvenliği için akıllı sistem geliştirilmiştir. Bu sistem güvenlik amacıyla su seviyesini ve köprünün konumunu sürekli kontrol etmektedir. Deprem, su baskını vb. acil durumlarda IoT kullanarak köprü yönetim personellerine uyarılar göndermektedir.

[7]'deki Sistem RTD ve gerinim sensörlerinden veriler toplanır ve kablosuz ağa aktarılır. Toplanan veriler veritabanına da aktarılır. Kullanıcı veritabanında kayıtlı olan verileri görebilir, bu veriler kullanıcının köprünün ayrıntılarını görmesine ve kazaların önlenmesine yardımcı olacaktır.

[20]'deki önerilen sistemde ultrasonik, titreşi, IR ve yangın sensörleri kullanılmıştır. Ayrıca mikrodenetleyici toplanan verileri işleyerek GSM modülü buluta iletmektedir. Köprülerin durumunu, sıcaklık ve köprünün altındaki su derinliği gibi bir dizi faktöre göre değerlendirmektedir. Bu veriler daha sonra GSM modülüne verilir ve GSM modülü bunları analiz etmek için internet üzerinden buluta göndermektedir.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, kamu güvenliği için köprülerin yapısal sağlığının izleme sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Temel amaç sensör ağı kullanılarak köprülerdeki hasarların tespit edilmesidir. Sensörlerle entegre nesnelerin interneti, köprü sağlığı izlemede hasarlara çözüm sunmaktadır. Bu sistemler birçok insanın hayatını kurtarabilmektedir. Bu çalışma, endüstri düzeyinde sensörler ve kontrolörler içeren gelişmiş bir sistem geliştirilerek ve diğer önemli parametrelerin yorumlanması için sinyallerin ayrıntılı dinamik analiziyle gerçek hayat uygulamalarına uygun hale getirilerek genişletilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] S. S. B. M. L. P. R. S. Balpande, «Low-cost fabrication of polymer substrate-based piezoelectric microgenerator with PPE, IDE and ME,» *Electronics Letters*, 53(5), Mumbai, 2017.
- [2] S. S. K. J. P. P. R. S. Balpande, «Development of strain energy harvester as an alternative power source for the wearable biomedical diagnostic system,» *Micro & Nano Letters*, Mumbai, 2019.
- [3] S. S. P. R. S. P. R. M. Balpande, «Design and low cost fabrication of green vibration energy harvester,» *Sensors and Actuators A: Physical*, Mumbai, 2016.
- [4] S. H. Z. M. A. M. K. T. M. R. Ali, «SHM of concrete bridge structures using wireless sensor,» %1 içinde *Systems and Technologies*, Munich, Germany, 2018.
- [5] M. D. G. P. G. B. S. S. Dhone, Frequency band widening technique for cantilever-based vibration energy harvesters through dynamics of fluid motion, *Errachidia: Materials Science for Energy Technologies*, 2018.
- [6] R. P. A. V. M. S. A. V. R. e. a. Swaraj, «RIBO-SIM: A parametric simulation tool for triboelectric energy generators.,» *International Journal of Ambient Energy*, p. 11, 2022.
- [7] S. K. P. J. L. K. P. S. K. AKSHATA DHURI, «IoT Based Bridge Health Smart Monitoring System,» K.C. College of Engineering & Management studies, Kopri, Thane (E)-400 603, India, 2019.
- [8] J. A. M. V.Kavitha, «Development of an IoT-Based Bridge Safety Monitoring System,» *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering*, cilt 6, no. 7, p. 3, 2019.
- [9] M. P. P. V. M. S. S. P. M. N. P. C. Ms. Arohi. D. Sonawane, «Bridge Monitoring System Using IOT,» *Journal of Advances in Electrical Devices*, cilt 3, no. 2, p. 4, 2018.
- [10] rmc, «RMC,» Teknopark , 10 Aug 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://rmc.com.tr>. [Erişildi: 04 Oct 2023].
- [11] E. Staff, «Inst Tools,» thermo metrics, 21 Jun 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://instrumentationtools.com/>. [Erişildi: 05 Oct 2023].
- [12] D. Jost, «FIERCE Electronics,» FIERCE, 07 Oct 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.fierceelectronics.com/sensors>. [Erişildi: 07 Oct 2023].
- [13] H. Sensors, «imb electric,» Hansford Sensors, 23 Feb 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://imbelectric.com/>. [Erişildi: 09 Oct 2023].

11. INTERNATIONAL SUMMIT SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

- [14] Renkeer, «Renke,» Renke, 04 June 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.renkeer.com/>. [Erişildi: 10 Oct 2023].
- [15] RoboCraze, «Robo Craze,» 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://robocraze.com/>. [Erişildi: 02 Nov 2023].
- [16] T. Nachazel, «mich,» Michigan Scientific Corporation, 13 Aug 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.michsci.com/>. [Erişildi: Nov 2023].
- [17] M. B. N. M. D. Y. S. M. H. V. M. J. P. Dr. Nagendra Kumar M, «A LOW COST MULTI-SENSOR SYSTEM FOR INVESTIGATING THE STRUCTURAL RESPONSE OF BRIDGE,» S J C Institute of Technology, Mumbai.
- [18] A. S. Gillis, «TeachTarget,» Iot Agenda, Aug 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.techtarget.com/>. [Erişildi: Oct 2023].
- [19] S. S. B. Sheetal A. Singh, «Development of IoT-Based Condition Monitoring System for Bridges,» %1 içinde *Tech Science Press*, Nagpur, India, 2022.
- [20] D. Y. A. Sangita Gore, «IOT BASED BRIDGE SAFETY MONITORING SYSTEM,» *International Journal Of Creative Research Thoughts*, cilt 10, no. 7, p. 4, 2022.