



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## NESNELERİN İNTERNETİNİN (IoT) İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDEKİ ROLÜ: GÖMÜLÜ SENSÖR KULLANIMI

## THE ROLE OF INTERNET OF THINGS (IoT) IN CIVIL ENGINEERING: EMBEDDED SENSORS APPLICATIONS

**Yazarlar (Authors):** Tayfun Uygunoğlu<sup>ID\*</sup>, Fatma Merve Kılçık<sup>ID</sup>, İlker Bekir Topçu<sup>ID</sup>,

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Uygunoğlu T., Kılçık F.M., Topçu İ.B. "Nesnelerin İnternetinin (IoT) İnşaat Mühendisliğindeki Rolü: Gömülü Sensör Kullanımı" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(3): 390-399, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.948567

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# NESNELERİN İNTERNETİNİN (IOT) İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDEKİ ROLÜ: GÖMÜLÜ SENSÖR KULLANIMI

Tayfun Uygunoğlu<sup>a</sup>, Fatma Merve Kılçık<sup>a</sup>, İlker Bekir Topçu<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar  
<sup>b</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

\* Sorumlu Yazar: [fmkilcik@aku.edu.tr](mailto:fmkilcik@aku.edu.tr)

(Geliş/Received: 06.06.2021; Düzeltme/Revised: 23.07.2021; Kabul/Accepted: 18.10.2021)

## ÖZ

Nesnelerin İnterneti (IoT)'nin, kablosuz teknoloji alanındaki ilerlemeler ve kablosuz iletişimin bir sensör cihazına entegrasyonu gerçekleştirilmesi ile kablolu algılama sistemlerine alternatif ve üstün bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Yapılar hizmet koşulları, aşırı kullanım, aşırı yüklenme, bakım ve çevre koşulları nedeniyle zamanla bozulmaktadır. Entegre izleme sistemlerinin pratik cihazlara yerleştirilmesi ile beton yapıların bozulma sürecinin izlenmesinde, ilgili maliyetleri en aza indirmek için bakım programlarının yapılmasını, mevcut ve yeni sorunların erken uyarılmasını sağlayan önemli ve umut verici bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Günümüzde inşaat mühendisliği alanında, iyi performans gösteren, uzun ömürlü, sürdürülebilir binalar elde etmek için IoT'nin binaların ve yapı sağlığı izlenimi için önemi günden güne artmaktadır. Yeni sensör konseptlerinin geliştirilmesi, onarım seçeneklerinin değerlendirilmesine daha rasyonel bir yaklaşım sağlamaktadır ve yapılarda denetim ve bakım programlarının planlanmasını sağlamaktadır. Şu anda, betonarme yapılarda sensörlerin geliştirilmesi, daha erken yaş parametrelerinden çevresel koşulların izlenmesine kadar son çalışmaların arttığını görmekteyiz. Bu çalışmada inşaat mühendisliği yapıları için IoT özelliği kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar araştırılmıştır ve deneysel çalışma olarak IoT özelliği kullanılarak kablosuz sensör izleme sistemi ile beraber alçı numunelerin iç sıcaklık ve nem ölçümleri uzaktan takibi amaçlanmıştır. Arduino platformu ile birlikte DHT11 (nem/sıcaklık) ve LM35 (sıcaklık) sensörünün kullanımı ele alınmıştır. Yapıların servis ömrünü uzatmak ve bakım maliyetlerini azaltmak için IoT teknolojisinin çeşitli uygulama alanları görülmüş ve bu kullanım alanlarının geliştirilmesi için öneriler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Nesnelerin İnterneti. İnşaat Mühendisliği. Sensörler.

## THE ROLE OF INTERNET OF THINGS (IoT) IN CIVIL ENGINEERING: EMBEDDED SENSORS APPLICATIONS

### ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) is recognized as an alternative and superior solution to wired sensing systems due to advances in wireless technology and the integration of wireless communication into a sensor device. Structures deteriorate over time due to service conditions, overuse, overloading, maintenance and environmental conditions. It is recognized that integrated monitoring systems play an important and promising role in monitoring the deterioration process of concrete structures, ensuring that maintenance programs are carried out to minimize the associated costs, early warning of existing and new problems. Today, in the field of civil engineering, the importance of IoT for the impression of buildings and building health is increasing day by day in order to achieve well-performing, long-lasting, sustainable buildings. The development of new sensor concepts provides a more rational approach to evaluating repair options and enables the planning of inspection and maintenance programs in structures. We are now seeing an increase in recent work on the development of sensors in reinforced concrete structures, from earlier age parameters to monitoring environmental conditions. In this study, applications performed using the IoT feature for civil engineering structures were investigated and remote monitoring of internal temperature and humidity measurements of gypsum samples was studied along with a wireless sensor monitoring system using the IoT feature as an experimental study. The use

of DHT11 (humidity/temperature) and LM35 (temperature) sensors was discussed in conjunction with the Arduino platform. In order to extend the service life of structures and reduce maintenance costs, Various application areas of IoT technology have been seen and recommendations have been made for the development of these areas of use.

**Keywords:** Internet of Things. Civil Engineering. Sensors.

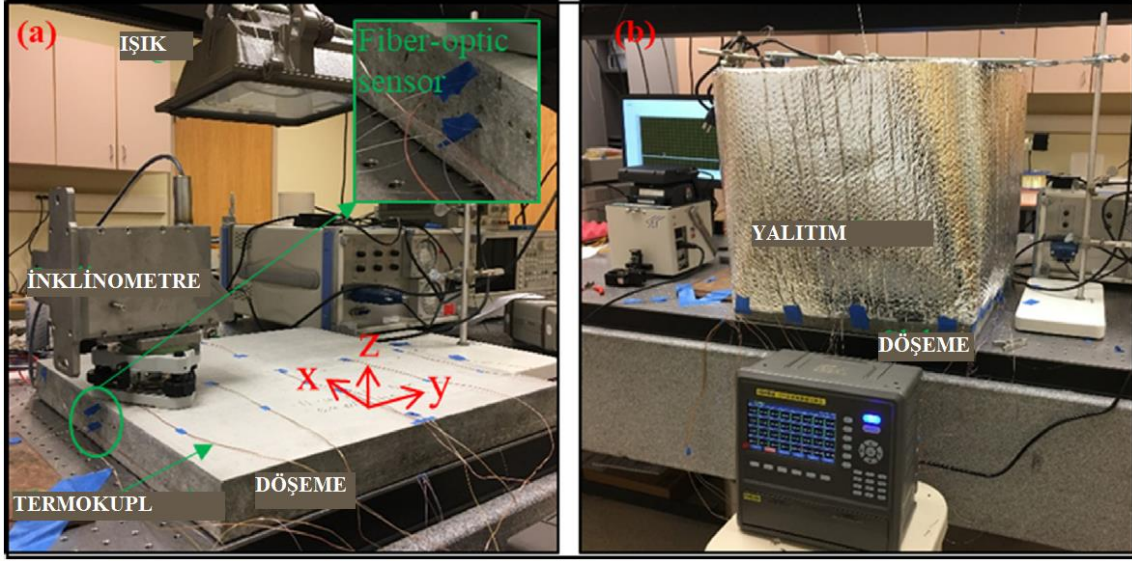
## 1. GİRİŞ

Birçok ileri teknoloji gibi, Kablosuz Algılayıcı Ağları (WSN) da başlangıçta özellikle askeri ve endüstriyel alanlarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır [1,2]. Ancak sensörlerin ve IoT teknolojisinin gelişimi, akıllı sistemleri günlük hayatımızdaki popülerliğini hızla artırmaktadır. IoT'nin gelişmesiyle insanların hayatına daha fazla akıllı cihazlar girmekte ve insan yaşamını kolaylaştırmaya yönelik uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır [3,4]. Bilginin internete aktarılıp gerçek ve eş zamanlı insanların hizmetine sunulması sistemlerin daha verimli, güvenilir ve konforlu olmasına ciddi katkılar sağlayacaktır [5]. Akıllı sistemlerin uygulama alanlarının artması ile beraber inşaat mühendisliği alanında da başta akıllı binalar ve yapı sağlığı olmak üzere farklı amaçlar için yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [6]. Son zamanlarda gelişen bu tür teknolojiler ile betonarme yapılarda meydana gelen çatlaklar, yapısal bozulma, donatı korozyonu, beton pH ölçümü, deplasman gibi malzeme ve geometrideki değişiklikleri ölçmek için durabilite ve yapı malzemesi uygulamaları da göz ardı edilemeyecek kadar çoktur. Bu uygulamalar yapı sağlığı ve yapı servis ömrü için erken uyarı sistemi olarak kabul edilebilir. Sürekli ölçülen veriler aracılığı ile daha uzun sistem ömrü, daha gereksiz ve düşük bakım maliyeti ile sonuçlanan iyi bir modelleme ve analitiğine katkıda bulunabilir [7]. IoT' un inşaat mühendisliği alanında etkin bir şekilde kullanılabileceğini literatürde yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir. Chang ve Hung [8], beton iç sıcaklık ve nemin kablosuz sinyal iletimi ile gerçek ve eş zamanlı ölçümler sağlayan yeni bir ölçüm tekniği geliştirmişlerdir. Deneylerde, donatı miktarının ve Radyo Frekansı (RF) sinyal gücünün negatif olarak ilişkili olduğunu ve etkili alım mesafesinin bu parametreye göre değiştiğini saptamışlardır. Górriz vd. [9], yangın olayları sırasında sıcaklıkları izlemek için beton yapılara gömülmek üzere özel olarak tasarlanmış Rejenere Fiber Bragg Izgaralara dayalı yeni bir fiber optik sensör önermektedir. Çalışmada kirişin orta açıklığına dokuz adet optik sensör yerleştirilmiştir ve doğrudan aleve ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır (200 °C/dakika- 953 °C/dakika). Optik sensörler tarafından kaydedilen sıcaklıklar, (beton dökülmesinin sonucunda bozulmalara ve / veya sensörlerin arızasına neden olduğu yerler haricinde), elektrik sensörlerinden (termokupllar) ve sayısal modelden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma yangınlar sırasında optik teknolojilerin betonarme yapılarda uygulanabilirliğini göstermiştir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Beton kirişin termokupllar ve fiber optik sensörleri ile donatılmasının genel görünümü (a) ve detayı (b) [9].

Liao vd. [10], dış sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalan beton döşemesini izlemek için entelektüel bir sistem geliştirmişlerdir. Fiber optik sıcaklık ve gerinim sensörleri büzülme sürecini izlemek ve değerlendirmek için beton kaplama plakasına yerleştirilmiştir (Şekil 2). Sistemin, levhanın büzülmesini tespit etmede etkili olduğu kanıtlanmıştır.



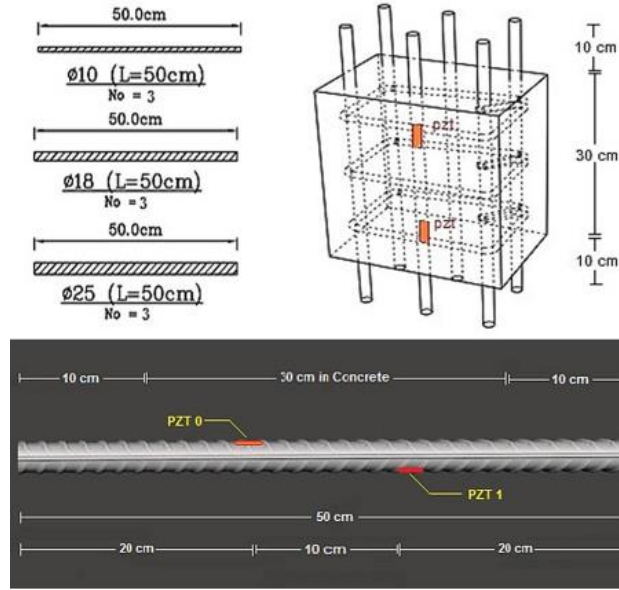
Şekil 2. a) deney düzeneği, b) yalıtımlı test süresi [10].

Strangfeld vd. [11], çalışmalarında, gömülü sensör sistemi kullanılmıştır. Nem sensörlerinden enerji beslemesi ve veri aktarımı sağlanmaktadır. Sensör, betondaki yüksek alkali ortama (pH değerinin 12'den fazla olma durumuna) dayanacak şekilde optimize edilmiştir. Gömülü sensörler ile bağlı nemi ölçmek için imento hidratasyonu 170 gün boyunca izlenilmiştir. Ayrıca 1000 günden fazla uzun süreli nem kontrolü yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre gömülü sensörlerin inşaat mühendisliğinde uzun vadeli yapısal sağlık izleme için son derece uygun olduğunu grlmştir.

Sensörler aracılığı ile betonarme yapılar da sadece betonun nem ve sıcaklığı değeril, aynı zamanda içerisine çekme gerilmelerini karşılaması için yerleştirilen donatı çubukların korozyonu da takip edilebilmektedir [12].

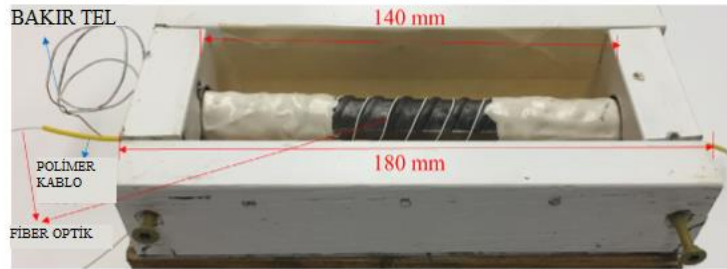
Johann vd. [13] çalışmalarında, özellikle elik betonarme bileşenlerin nem penetrasyonu ve korozyonu olmak üzere, bakım zorluğunu ve erken hasar tespiti yapmak için bir sistemin geliştirilmesini önermektedir. alışmalarındaki amaç, 30 yıl ve daha uzun süre sonra da çalışabilecek bir yöntem geliştirmektir. Yapılan denemelerde gömülü sensörlerle bağlantı sağlanmaktadır. Sistemin sağlamlığı çok sayıda deney üzerinde test edilip değerlendirilmiştir. Sensörlerin korunması için çeşitli kapsülleme testleri yapılıp uzun süreli doğrulama için çeşitli beton örnekleri sensör sistemleri ile donatılmıştır.

Ahmadi vd. [14], yapı sağlığı izlenimi ve tahribatsız korozyon teşhisi için elektromekanik empedans yöntemi kullanılmaktadır. Betonda piezoelektrik (PZT) sensörler kullanılarak, bu sensörlerin basınç kuvvetine duyarlılığı bir dizi deneyle araştırılmaktadır. İki PZT sensörünü iki farklı yönde donatı elemanlarına bağlanarak, örneklerin davranışları sürekli olarak empedans eğrileri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3). Elde edilen sonuçlara göre, korozyon sırasında empedans eğrisinin varyasyonlarına dayanarak korozyon hızının ve yönünün yanı sıra korozyon başlatma sresinin tespiti için bir çözüm önerilmiştir.



Şekil 3. PZT sensörlerinin iki farklı yönde yerleştirilmesi [14].

Fan vd. [15], fiber optik sensörler (FOS) ile betonarme yapıların korozyon izlenimi gerçekleştirilmiştir. Dağıtılmış fiber optik sensörler ile donatılmış betonarme kirişler hazırlanmıştır. Dağıtılmış (FOS), çelik çubuğun korozyonundan kaynaklanan etki alanını ölçmek için çelik çubuk üzerinde bir helisel desende yerleştirilmiştir (Şekil 4). Hızlandırılmış korozyon için bir NaCl çözeltisine batırılmış kirişlere sabit bir akım uygulanmıştır. Sensörlerden ölçülen deformasyon, çelik çubukları çevreleyen korozyon ürünlerinin hacmini değerlendirmek ve beton kaplamasının çatlamasını tahmin etmek için kullanılmıştır.



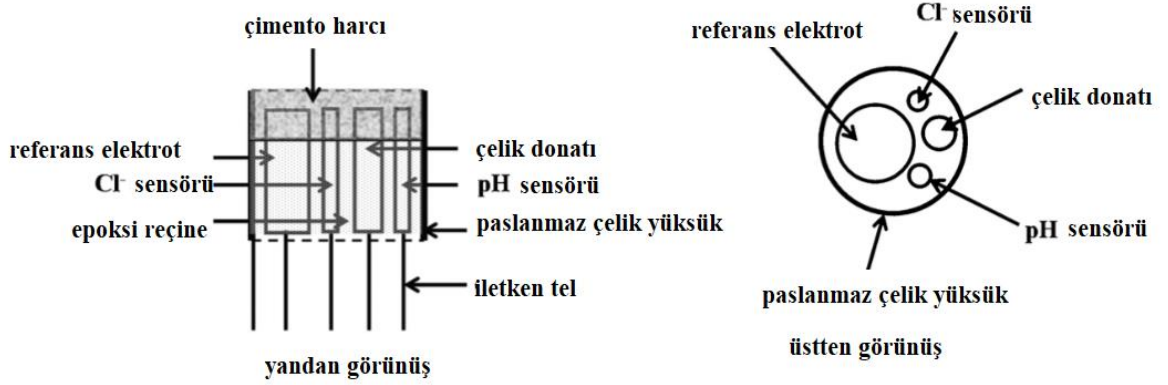
Şekil 4. Sensörlerin donatıya helisel sarılması [15].

Duffó ve Farina [16], betonarme yapıların durumunu korozyon açısından izlemek için entegre ve uygun maliyetli bir sensör sistemi geliştirmişlerdir. Sensör, inşaat demiri açık devre potansiyelinin, inşaat demiri korozyon akımı yoğunluğunun, betonun elektriksel direncinin, oksijenin mevcudiyetinin, betondaki klorür iyonlarının konsantrasyonunun ve yapının içindeki sıcaklığın ölçümlerini sağlamaktadır. Entegre sistem, betona gömülü çeşitli elektrotlardan, elde edilen verileri toplayan ve analiz eden bir yazılım sisteminden oluşur (Şekil 5). Çalışmada elde edilen veriler sonucunda mevcut ve yeni beton yapıların korozyon durumunu belirlemek için bu tip sensörün uygulanabilirliğini göstermiştir.



Şekil 5. a) Sensör tasarımının şematik diyagramı ve yapıdaki konumu; b) Sensörün son görünümü: gözenekli harca yerleştirilmeden önce; c) gözenekli harca yerleştirildikten sonra [16].

Romero vd. [17], beton içinde karbonatlaşma sürecini izlemek ve kontrol etmek için kalın film teknolojisini kullanan bir potansiyometrik sensör geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda kalın film sensörünün beton pH'daki varyasyonlara potansiyometrik bir tepkiye sahip olduğunu ve karbonatlaşmanın ilerlemesi hakkında sürekli, gerçek zamanlı bilgi sağlayabildiğini göstermektedir. Dong vd. [18], çalışmalarında klorür ve pH ölçebilen çok işlevli sensör geliştirmişlerdir (Şekil 6). Bu sensör pH ölçümü için beton arayüzüne ve inşaat demiri arasına 10 mm mesafesinde yerleştirilmiştir. Beton döngüsel olarak 2 gün % 3.5 NaCl çözeltisine, 2 gün de kurutma işlemine tabi tutulmuştur ve ölçümlere başlamadan önce beton 28 gün boyunca oda sıcaklığında %95 nem oranında kürlenmiştir, 250 gün boyunca gerçek ve eş zamanlı ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Çok fonksiyonlu sensörün şematik gösterimi [18].

Shemin vd. [19] IoT yöntemi ile betonun erken yaş basınç dayanımı incelemiştir. Bu çalışmada erken basınç dayanımının gerçek zamanlı izlenmesi için yenilikçi ve uygun maliyetli olan Nesnelerin İnterneti (IoT) özellikli bir sistem önermektedir. Olgunluk ilişkilerine göre farklı beş adet beton karışımı oluşturulmuştur. Oluşturulan beton karışımlarının olgunluk ilişkisi de kullanılarak erken basınç dayanımlarının gerçek basınç dayanımları ile iyi eşleştiği bulunmuştur.

Abdelgawad ve Yelamarthi [20], çalışmalarında, yapıdaki hasarın boyutunu ve yerini tespit etmek için Nesnelerin İnterneti (IoT) ile gömülü bir yapı sağlığı izleme platformu önerirken, Scuro vd. [21], çalışmalarında, yapı güvenliğinin değerlendirilmesi açısından nesnelerin interneti (IoT) tabanlı yapı sağlığı izleme (SHM) sistemlerine genel bir bakış sunmuşlardır. IoT- yapı sağlığı sistemi, akıllı evler ve akıllı şehirler gibi uygulama senaryolarına iyi uyarlanmış, bir yandan insanlar ve mallar için güvenliği artırmış ve diğer yandan periyodik izleme maliyetlerini düşürmüştür. Ghoorun [22], maliyet açısından yüksek olan akıllı binalar yerine nesnelerin internetini kullanarak çevresel değerleri takip eden, anlık ortam izlemesi yapan daha düşük maliyetli bir çalışma yapmıştır ve daha rahat bir yaşam oluşturmuştur. Diğer bir ifadeyle yapı sağlığı üzerine IoT kullanımı üzerine bir sistem geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, inşaat mühendisliği yapıları için IoT özelliği kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar araştırılmıştır ve deneysel çalışma olarak IoT özelliği kullanılarak kablosuz sensör izleme sistemi ile beraber alçı numunelerin iç sıcaklık ve nem ölçümleri uzaktan takibi incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere üretilen numunelerde kullanılan malzeme miktarları ve kullanılan harcın ağırlıkça oranları, alçı:su=1.5:1 şeklinde olup Çizelge 1'de verilmiştir. TS EN 1008'e [23] uygun olan Afyonkarahisar ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan malzeme miktarları

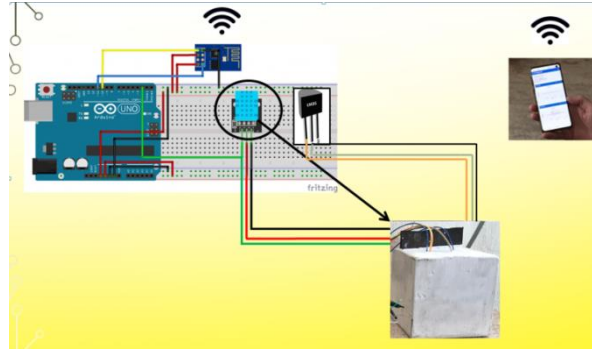
Alçı (g)	Su (g)
1520	1010

Sıcaklık ve nem algılama modülü olan, 0 ile 50 °C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) arasında sıcaklık ve 20-90% RH ( $\pm 5\%RH$ ) arasında nem ölçebilen DHT11 sensörü kullanılmıştır. Boyutu 25x16x7mm olan kalibre edilmiş dijital

sinyal çıkışı veren gelişmiş bir algılayıcıdır. Bu sensör yüksek güvenilirliktedir ve uzun dönem çalışmalarda dengelidir. Ayrıca yüksek kaliteli ve düşük maliyetli olan daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen, sıcaklık ölçüm aralığı  $0.5^{\circ}\text{C}$  hassasiyet ile  $-55^{\circ}\text{C}$  ile  $150^{\circ}\text{C}$  arasında olan, Arduino veya herhangi bir mikrodenetleyiciye kolayca bağlanabilen LM35 sıcaklık sensörü kullanılmış ve datalar karşılaştırılmıştır.

## 2.2. Numune Hazırlanması Ve IoT Tabanlı Uygulanan Deneyler

IoT uygulaması laboratuvar ortamında üretilen alçı numunelere uygulanmıştır. Tüm karışımlarda bağlayıcı olarak alçı miktarı sabit tutulmuştur. Karışımlar homojen halde üretilmek için partiler halinde su üzerine alçı katılarak üretim sağlanmıştır. Alçı numuneler  $100\times 100\times 100\text{mm}$  boyutlu küp numune olmak üzere üretilmiştir. Sensörler alçı hamuru merkezine gömülmüş olup tek numune üzerinden veriler alınmıştır ancak 3 defa tekrarlanmıştır. DHT11 sensörünün etüv fırınında  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  dayanımı yetersiz olduğu için deney düzeneğinde nem ölçmesi için kullanılmış ve sıcaklık ölçümü için LM35 sensörü kullanılmıştır. Üretilen taze alçı numuneler içerisine DHT11 ile LM35 sensörleri gömülü olarak yerleştirilmiştir. 30 dk boyunca kalıpta prizini tamamlayan numuneler kalıplarından çıkartılıp nem ve sıcaklık değerlerin okuması Şekil 7’de gösterilen Arduino platformu ile birlikte DHT11 ve LM35 sensörünün kullanımı ele alınmıştır. Üretilen numuneler Şekil 8’de gösterilen deneysel düzencele beraber etüv fırına konulup  $110^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ısıtılmıştır ve veri akış okumaları yapılmıştır. Son olarak ısıtılan numuneler Şekil 9’da verilen düzenek ile tekrar su içerisine konularak soğuma işlemine tabi tutulmuştur ve numuneler üzerinden veri okuması kablosuz sensör izleme sistemi ile birlikte uzaktan takip edilmiştir.



Şekil 7. Arduino platformu ile birlikte DHT11 (nem/sıcaklık), LM35 (sıcaklık) sensörleri ve IoT deney düzeneği.



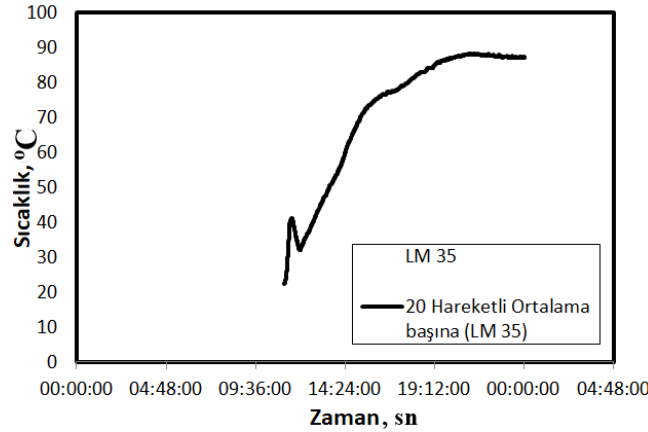
Şekil 8. Isıtılan numune IoT deney düzeneği.



Şekil 9. Soğutulan numune IoT deney düzeneği.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Isıtılan numuneler üzerinden alınan veri akışları Şekil 10’ da verilen grafikten görülmek üzere etüv fırınının derecesi arttıkça içinde bulunan numunenin zamanla iç sıcaklık artışını okumak mümkün olduğu görülmektedir. Etüv fırınının sıcaklığı zamanla arttıkça sıcaklık numune yüzeylerinden içeriye nüfuz etmekte olup buna bağlı olarak numune iç sıcaklıkları artmaktadır. Grafikte görülen sıcaklık dalgalanmaları ısıtma sırasında gerçekleşen ortam koşullarından kaynaklandığı görülmektedir. Isıtılmış numunelerde okunan maksimum ve minimum iç sıcaklık değerleri sırası ile 93.84 °C ve 21.99 °C okumalarını yapmak mümkündür. Fernando vd. [24] ise yaptıkları çalışmada betonarme bir kirişteki sıcaklık ve gerinim ölçümü için bir FBG sensörünün kullanımı ele alınmıştır. FBG sensörleri ile beraber birkaç termokupl döküm aşamasında beton kirişe gömülmüştür. Ayrıca kiriş dayanım kazandıktan sonra 5 kN yanal yük uygulanarak üç noktalı eğilme deneyi ile beraber 200 °C’ ye kadar ısıtılmıştır. FBG sensörler aracılığı ile elde edilen sıcaklık, gerinim ve titreşim verileri gerçek zamanlı izlenilmiş ve kaydedilmesi başarılmıştır.

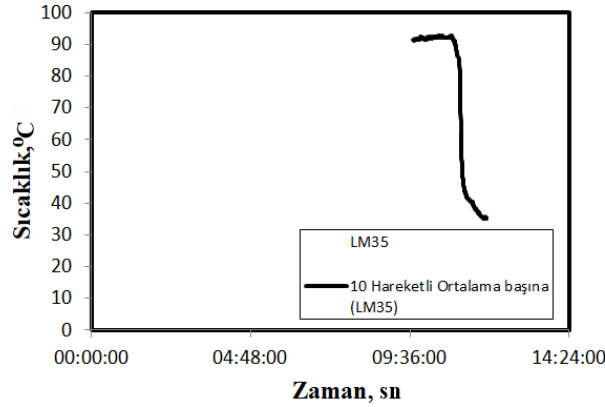


Şekil 10. Isıtılan numune üzerinden alınan değerler.

Soğutulan numuneler üzerinden alınan veri akışları Şekil 11’ de verilen grafikten görülmek üzere numune soğutuldukça zamanla iç sıcaklık düşüşlerini okumak mümkün olduğu görülmektedir. Soğutmak amacı ile su içerisine alınan numuneler üzerine su zamanla nüfuz ederek alçı numunelerin iç sıcaklık ölçümlerinde düşüşe neden olmuştur ayrıca su ile birlikte numuneler doymun hale gelerek nem miktarının da artışlar ortaya çıkmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen soğutma sırasında okunan minimum değer ise 34.19 °C’dir. Barroca vd. [25], beton yapının içindeki hem sıcaklığı hem de nemi ölçmek için bir otomatik kablosuz sensör izleme sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmaları dört aşamadan oluşmaktadır. İlki, negatif sıcaklık katsayısının termistörü kullanılmasını içeren bir IRIS modelidir. Ancak sonuçlar sensör ölçümlerinin gerçek ölçümler ile kıyaslandığında arasında 5°C standart sapma değerini göstermiştir. İkincisi, mikrodenetleyici veya Arduino platformu ile birlikte SHT15 (nem / sıcaklık) sensörünün kullanımını ele alır. Üçüncü çözüm ise; mikro denetleyici için SHT21S (nem / sıcaklık) sensörünün ve kablosuz geliştirme aracı platformunun kullanımını içerir. Bu durumda, sıcaklık

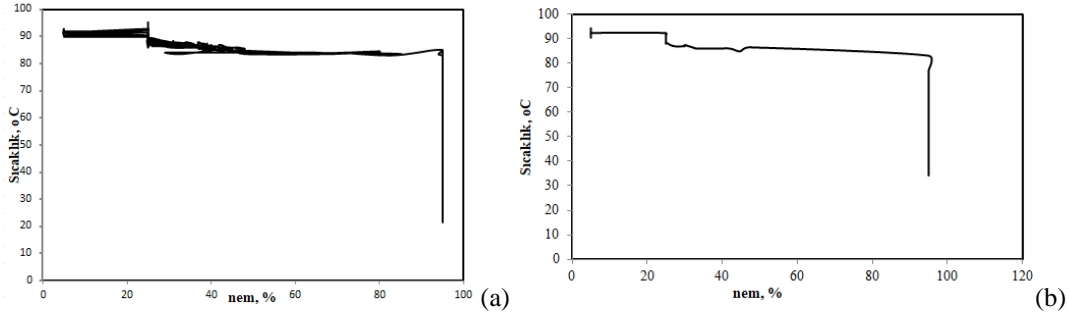


okumaları ilk 16 saat boyunca başarıyla alınmıştır. Son olarak, dördüncü çözüm, hem SHT15 hem de SHT21S sensörleri beraber kullanılmıştır ve bu dördüncü aşamada gerçek zamanlı ve sürekli izlenim sağlanmıştır.



Şekil 11. Soğutulan numune üzerinden alınan değerler.

Isıtılan numuneler üzerinden kablosuz sinyal yöntemi ile gerçek ve eş zamanlı alınan verilere göre numune sıcaklığı arttıkça zamanla alçı iç sıcaklığının arttığı ve dolayısı ile nemin ortamdaki uzaklaşarak azaldığı, soğutulan numuneler üzerinde ise zamanla alçı iç sıcaklığının azaldığı ve numuneler doymun hale gelerek nem değerlerinin arttığı Şekil 12'de gösterilmiştir. Yapılarda su kaybının buharlaşma ile meydana geldiği bilinmektedir. Buharlaşma ve sıcaklık arasında doğru orantı olduğundan yapıların nem kaybı da dolayısı ile bu durumla ters orantılı olmaktadır.



Şekil 12. Isıtılan (a) ve soğutulan (b) numunelerin sıcaklık-nem ilişkisi.

Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, IoT tabanlı gömülü sensörlerin kullanımı ile yapıların sıcaklık ve nem ölçümleri uzaktan ve eş zamanlı olarak takibi sağlanabilmektedir. Bu sayede yapı sağlığı ve yapı servis ömrü için yapıların bozulma sürecinin izlenmesinde, mevcut ve yeni sorunların erken uyarı sistemi olarak kabul edilebilirliği görülmüştür. IoT ile iyi performans gösteren, uzun ömürlü ve ilgili bakım maliyetlerini en aza indirgeyen pratik çözümler sunacaktır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Akıllı ve IoT tabanlı teknolojilerin hızlı gelişimi ve uygulanması, kablosuz iletişimin bir sensör cihazına entegrasyonu gerçekleştirilmesi ile inşaat mühendisliği yapılarında büyük avantajlar sağlamaktadır. Sağladığı bu avantajlar ile inşaat mühendisliği alanında IoT'nin kullanım alanının yaygınlaştığı görülmektedir. Günümüzde mevcut ve yeni betonarme yapıların gerek statik gerek durabilite özellikleri kablosuz ağ teknolojisi ile takip edilebilmektedir. Bu çalışmada, alçı numuneler üzerinde yapılan IoT özelliği kullanılarak kablosuz sensör izleme sistemi ile beraber alçı iç sıcaklık ve nem ölçümleri uzaktan takibi uygulamaları yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Isıtılan numunelerin zamanla sıcaklığın numunelere nüfuz ederek iç sıcaklıklarının arttığını ve nemin ortamdaki uzaklaşarak uzaklaşarak azaldığını,

- Soğutulan numunelerde ise, iç sıcaklığının zamanla azaldığı ve suda doygunluk derecesi artarak nem değerlerinin yükselişini kablosuz sinyal iletimi ile gerçek ve eş zamanlı ölçümler sağlayan yeni bir ölçüm tekniği ile izlenebilirliği kanıtlanmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmada, yapıların sıcaklık ve nemin izlenmesine izin veren otomatik bir ölçüm sisteminin geliştirilmesine yönelik olup alçı merkez noktasından nem ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Böylece, izin verilen bir sistem kurulduğu takdirde yapılarda çok noktalı nem ve sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesi gelecekteki araştırmalar olarak öngörülmüştür. Ayrıca bu yöntemin beton kütle hacminin büyük olduğu barajlar veya köprüler gibi yapılarda da kullanılması çok yararlı olabilir. Kürleme prosesi betonun kalitesini belirleyen bir işlem olduğundan nem ve sıcaklık değerleri bilindiği takdirde beton yüzeyin erken kuruması nemlendirerek önlenir. Böylece IoT tabanlı sensörlerin kullanımı ile uzun ömürlü ve iyi performans gösteren yapılarda pratik çözümler sunacaktır. Bu çalışmalar sonucunda akıllı sistemlerin inşaat mühendisliği alanında farklı uygulamalarda etkin olarak kullanılabileceği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Ceyhan, E. B., Sağiroğlu, Ş., "Kablosuz algılayıcı ağlarda güvenlik sorunları ve alınabilecek önlemler", Politeknik Dergisi, Cilt 16, Sayı 4, Sayfa 155–163, 2013.
2. Soylu, T., "Kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanları ve bir algılayıcı düğüm tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, 2012.
3. Wang, J., Lim, M.K., Wang, C., Tseng, M. L., "The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years" Computers & Industrial Engineering, Vol.155, Pages 1-17, 2021.
4. Zhang, Q., Sun, H., Wu, X., Zhong, H., "Edge video analytics for public safety: a review", Proceedings of the IEEE, Vol. 107, Issue 8, Pages 1675–1696, 2019.
5. Koşunalp, S., Arucu, M., "Nesnelerin interneti ve akıllı ulaşım", Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 1-7, 2018.
6. Uygunoğlu T., Topçu İ.B., "The role of Internet of Things (IoT) in civil engineering: RFID applications", Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., Vol. 4, Issue 3, Pages 270-277, 2020.
7. Yang, S., Shen, K., Ceylan, H., Kim, S., Qiao, D., Gopalakrishnan, K., "Integration of a prototype wireless communication system with micro-electromechanical temperature and humidity sensor for concrete pavement health monitoring". Cogent Engineering, Vol. 2, Issue 1, Pages 1-15, 2015.
8. Chang, C, Y., Hung, S, S., "Implementing RFIC and sensor technology to measure temperature", Construction and Building Materials, Vol. 26, Issue 1, Pages 628-637, 2011.
9. Górriz, B., T., Zaforteza, I., P., García, P.A., C., S. Sales Maicas, S., S., "New fiber optic sensor for monitoring temperatures in concrete structures during fires", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 254, Pages 116-125, 2016.
10. Liao, W., Zhuang, Y., Zeng, C., Deng, W., Huang, J., Ma, H., "Fiber optic sensors enabled monitoring of thermal curling of concrete pavement slab: Temperature, strain and inclination", Measurement", Vol. 165, Issue 1, Pages 1-12, 2020.
11. Strangfeld, C., Johann, S., Bartholmai, M., "Smart RFID sensors embedded in building structures for early damage detection and long-term monitoring", Sensors, Vol. 19, Issue 24, Pages 1-18, 2019.
12. Lee, U.K., Kim, J.H., Cho, H., Kang, K.I., "Development of a mobile safety monitoring system for construction sites", Autom. Constr., Vol. 18, Issue 6, Pages 258–264, 2009.
13. Johann, S., Strangfeld, C., Zimmek, D., Bartholmai, M., "Smart electronic helper for long-term monitoring of bridges and building structures", Pages 1–6, Berlin, 2019.
14. Ahmadi, J., Feirahi, M, H., Farahmand-Tabar S., Fard, A, H, K., "A novel approach for non-destructive EMI-

- based corrosion monitoring of concrete-embedded reinforcements using multi-orientation piezoelectric sensors”, *Construction and Building Materials*, Vol. 273, Pages 1-17, 2020.
15. Fan, L., Tan, X., Zhangc, Q., Meng W., Chen, G., Bao, Y., “Monitoring corrosion of steel bars in reinforced concrete based on helix strains measured from a distributed fiber optic sensor”, *Engineering Structures*, Vol. 204, Pages 1-10, 2020.
  16. Duffó, G. S., and Farina S. B., “Development of an embeddable sensor to monitor the corrosion process of new and existing reinforced concrete structures”, *Construction and Building Materials*, Vol. 23, Issue 8, Pages 2746-2751, 2009.
  17. Romero, J, M, G., Campos, I., Valcuende, M., García-Breijo, E., Marcos, M, D., Pay, J., Soto, J., “Potentiometric thick-film sensors for measuring the pH of concrete”, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 68, Pages 66-76, 2016.
  18. Dong, S. G., Lin, C. J., Hu, R. H., Li, L. Q., Du, R. G., “Effective monitoring of corrosion in reinforcing steel in concrete constructions by a multifunctional sensor”, *Electrochimica Acta* Vol. 56, Issue 4, Pages 1881–1888, 2011.
  19. Shemin, T. J., Bijoy K. R., Pradip S., Robin D., “IoT enabled real-time monitoring system for early-age compressive strength of concrete”, *American Society of Civil Engineers*, Vol. 146, Issue 2, Pages 1-11, 2019.
  20. Abdelgawad, A., Yelamarthi, K., “Internet of things (IoT) platform for structure health monitoring”. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Issue 1, Pages 1-10, 2017.
  21. Scuro, C., Sciammarella, P. F., Lamonaca, F., Olivito, R. S., Carni, D. L., “IoT for structural health monitoring”, *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, Vol. 21, Issue 6, Pages 4-14, 2018.
  22. Ghoorun, M. M., “Internet of Things based hybrid home automation system control via android app”, Thesis (MSc), Gaziantep University, Gaziantep, 2018.
  23. TS EN 1008, “Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları” TSE, Ankara Türkiye, 2003.
  24. Fernando, C., Bernier, A., Banerjee, S., Kahandawa, G. G., Eppaarchchi, J., “An investigation of the use of embedded FBG sensors to measure temperature and strain inside a concrete beam during the curing period and strain measurements under operational loading” , *Procedia Engineering*, Vol. 188, Pages 393–399, 2017.
  25. Barroca, N., Borges, L, M., Velez, F, J., Monteiro, F., Gorski, M., Gomes, J, C.,”Wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring within concrete structures” *Construction and Building Materials*, Vol. 40, Pages 1156-1166, 2013.