



**Makale / Research Paper**

**Nesnelerin İnterneti (IoT) Tabanlı Kendini Kürleyen Akıllı Beton Üretimi**

**Tayfun UYGUNOĞLU<sup>a,\*</sup>, İlker Bekir TOPÇU<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200

Afyonkarahisar/TÜRKİYE; \* [uygunoglu@aku.edu.tr](mailto:uygunoglu@aku.edu.tr)

<sup>b</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480  
Eskişehir/TÜRKİYE; [ilkerbt@ogu.edu.tr](mailto:ilkerbt@ogu.edu.tr)

**Received/Geliş:** 25.11.2020

**Accepted/Kabul:** 27.12.2020

**Öz:** Bu çalışmada, yerine dökülen betonların hidratasyon sürecinde rötre yaparak çatlamlarını önlemek için Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı akıllı sulama sistemiyle kürlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, taze betonun farklı bölgelerinde yüzeyine nem sensörleri yerleştirilmiştir. Beton yüzey neminin azalması durumunda mevcut nem durumu sensörler tarafından algılanmış ve su motorları otomatik olarak aktif hale gelerek beton yüzeyine yerleştirilmiş olan su püskürtme cihazıyla sulama işlemi tüm beton yüzeyine yapılmıştır. Nem değeri yeterli seviyeye ulaştığında yine sensörler tarafından algılanarak sulama işlemi otomatik olarak kesilmiştir. Bu işlemler tüm uygulama süresinde kablosuz ağ teknolojisi ile internetten izlenmesi sağlanmıştır. Böylece, özellikle yaz aylarında betonun dökümünden itibaren yeterli dayanım kazanıncaya kadar yapılması gereken kür işlemi sensörler yardımıyla ve alanda bir kişinin beklemesine gerek kalmadan otomatik olarak sürekli nemli kalması sağlanmıştır. Böylece klasik beton kürlenme yöntemlerine göre daha kaliteli beton üretimi sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Akıllı beton, kendini kürlenme, nesnelerin interneti.

**Internet of Things (IoT) Based Smart Self Curing Concrete Production**

**Abstract:** In this study, the curing of the poured concrete with the Internet of Things (IoT) based smart irrigation system was carried out in order to prevent cracking by shrinkage during the hydration process. For this purpose, moisture sensors are placed on the surface of fresh concrete in different regions. In case of a decrease in the concrete surface moisture, the current moisture condition was detected by the sensors and the water motors were automatically activated and the irrigation process was carried out on the entire concrete surface with the water spray device placed on the concrete surface. When the humidity level reaches a enough level, it is detected by the sensors and the irrigation process is stopped automatically. These transactions are monitored on the internet with wireless network technology during the entire application period. Thus, the curing process, which must be done from the casting of the concrete until it gains enough strength, especially in the summer months, is ensured to remain damp automatically and automatically without the need for a person to wait in the area. Thus, better quality concrete production has been achieved compared to conventional concrete curing methods.

**Keywords:** Smart concrete, self-curing, internet of things

**1. Giriş**

Kürleme, çimentonun hidratasyonunu destekleyen prosedürlere verilen isim olup, betonun dayanım gelişimi ve dayanıklılığı üzerinde önemli bir rol oynar. Ayrıca, beton yerleştirme ve bitirme işleminden hemen sonra gerçekleştirilip, istenen nem ve sıcaklık koşullarının hem betonun iç kısmında hem de yüzeye yakın bölgelerde uzun süre korunmasını sağlar [1]. Düzgün bir şekilde kürlenmiş beton, hidratasyon ve dayanım gelişimi, hacim kararlılığı, donma ve çözülme direnci ve aşınma ve pullanmaya karşı dirençli hale gelebilmek için gerekli olan nem içeriğine sahip

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B. "Nesnelerin İnterneti (IoT) Tabanlı Kendini Kürleyen Akıllı Beton Üretimi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(1); 245-253.

*How to cite this article*

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., "Internet of Things (IoT) Based Smart Self Curing Concrete Production" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8(1); 245-253.

ORCID ID (°0000-0003-4382-8257; °0000-0002-2075-6361)

olmaktadır. Çimentoya su eklendiğinde, çimentonun hidratasyon yapmasını sağlayan ve zamanla katılışp, sert bir kütle oluşumunu sağlayan karmaşık bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyon ancak su mevcut olduğunda devam eder. Su uzaklaşırsa, reaksiyon durur ve bu da çimentonun yalnızca kısmen hidratlanmasıyla sonuçlanır. Bu nedenle beton, çimento hidratasyonu sırasında nem kaybının oranını ve kapsamını kontrol etmek için kürlenir. Beton yüzeyinden atmosfere doğru oluşan nem kaybı, erken yaşta çatlamalara neden olur ve böylece dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkiler [2].

Betonun dayanım gelişimi, ağırlıklı olarak su/çimento oranı ve hidratasyon derecesine bağlıdır. Erken yaşlarda betondan nem uzaklaşırsa hidratasyon işlemi duracak ve beton da istenilen dayanıma ulaşamayacaktır. Bu durum, çimento ve suyun kimyasal reaksiyonunu, su eklendikten sonra her çimento tanesinden ince iğnemsî yapıdaki hidratasyon ürünlerinin büyümeye başladığı bir süreç olarak somutlaştırılabilir. Bu iğne şeklindeki hidratasyon ürünleri büyüdükçe, iç içe geçerler ve betonun dayanım kazanma sürecini üstlenirler. Eğer beton içinde yeterli miktarda su bulunmazsa, iğnemsî ürünlerin oluşumu durdurur ve daha az hidratasyon ürünü oluşur, bu da dayanım kaybına neden olur [3]. Kürlemenin gereğinden az yapılması, ayrıca betonun donatıyı korozyondan koruma kabiliyetini de azaltacaktır. Kürleme süreci ne kadar uzun olursa, ilk yaşlarda oluşan hidratasyon ürünleri o kadar fazla oluşacak ve beton içyapısı da o kadar yoğun olacaktır [4]. Bu süreç, betonu daha su geçirmez hale getirecek ve beton içine gömülü donatı çevresindeki koşullardan dolayı oluşacak korozyon sürecini artıracaktır. Kürlemenin bir diğer önemli özelliği, betondaki çekme gerilmeleri nedeniyle erken yaşta oluşan çatlama etkisidir. Betonun yüzeye bakan üst kısmı kurduğunda ve büzölmeye başladığında beton yüzeyinde çekme gerilmeleri nedeniyle çatlamlar oluşabilmektedir. Kürlenme mümkün olduğu kadar erken başlamazsa, betonun yüzeye yakın gözeneklerinden nem kaçabilir. Bu durum, beton içindeki kılcal boşluklarda negatif basınç oluşturarak katı partiküllerin birbirine yaklaşmasına (büzölme) neden olur. Kürlenme ile nem kaçışı engelliyorsa, yüzey büzölmesi de engellenecek ve böylece beton yüzeyinde oluşabilecek çatlaklar önlenecektir [5]. Zemin ve yapısal betonlar, 10 derecenin üzerindeki ortam sıcaklıkları için en az 7 günlük bir kürlenme süresi gerektirir [6]. Taze beton kalıbına yerleştirildikten sonra, betonun yüzeyi şantiyedeki ekip tarafından sulama işlemiyle ıslak tutulmaya çalışılmaktadır. Ancak, özellikle yaz aylarında hava sıcaklığına bağlı olarak beton yüzeyi hızlı kurumakta ve şantiye ekibi tarafından gerçekleştirilen sulama işlemi yetersiz kalabilmektedir. Sonuçta da beton yüzeylerinde çatlamalara sıkça rastlanmaktadır. Betonun yüzeyinin sık sulanması bu durumu önleyecektir [7].

Betonun içindeki nem miktarı gibi bazı özelliklerini sensörlerle ölçmek için literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Montaser ve Moselhi [8], ultra yüksek frekans (UHF) radyo dalgalarını kullanarak binaların içindeki insanları ve malzemeleri tanımlamak için radyo frekansıyla tanımlama sistemini (RFID) kullanmışlardır. Çoklu ağ teknolojisiyle, ara yazılım ve RFID teknolojileri, ABD'de prekast sektöründe başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sayede üreticilerinin maliyetleri düşürmesine ve müşterilere ürünlerinin orijinalliği ve kalitesinden emin olmalarına yardımcı olmaktadır. Yetkili kullanıcılar, her bir prekast elemanın (üretim sürecinin herhangi bir aşamasında) durumu hakkında gerçek zamanlı verilere erişebilmekte, ayrıca her bir elemanın üretim, envanter ve kalite kayıtlarını çevrimiçi olarak izleyebilmekte ve hatta üretim aşamasında ürün sevkiyatında bile bu teknolojiyi kullanabilmektedir [9]. Zhou vd. [10] RFID etiketini (çip) betonun üretimi aşamasında içerisine gömülü olarak yerleştirmiştir. Betonlar sertleşip dayanım kazandıktan sonra, içerisindeki nem miktarının kablosuz olarak RFID teknolojisiyle ölçmeyi amaçlamışlardır. Betonlar iklimlendirme kabineye yerleştirilmiş ve belirli nem oranına getirilmişlerdir. RFID ile betonun içinde oluşan nem ve kabin içerisindeki nem değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Kabinden alınan nem değerlerine çok yakın ölçümler gerçekleştirilmiştir. Caizzone ve Giampaolo [11], kablosuz ağ üzerinden RFID teknolojisini kullanarak betonda oluşan çatlakların belirlenmesi ve böylece yapı sağlığının takibi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiş ve olumlu sonuçlar almışlardır. Leon-Salas ve Halmen [12] yine RFID teknolojisi ile beton içerisinde gömülü olan inşaat demirlerinin korozyonunu gözlemlemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Çalışma sonucunda RFID aracılığı ile beton içerisine donatı üzerine yerleştirdikleri sensörlerden veri alabilmişlerdir. Benzer şekilde kızılötesi ışınlar ve optik sensörlerle betondaki çatlak gelişimleri üzerine çalışmalar yapılarak yapı sağlığı izleme sistemleri geliştirilmeye çalışılmıştır [13-16].

Sensörlerle alınan bu özellikler kablosuz ağ teknolojisi ile uzaktan da algılanabilmektedir. Dolayısıyla, Endüstri 4.0 olarak bilinen ve temelinde kablosuz ağ teknolojisi ile Nesnelerin İnterneti (IoT)'nin sağladığı avantajlardan dolayı kullanılmaya başlandığı alanlardan birisi de İnşaat Mühendisliği uygulamalarıdır [17-19]. Cihazlara, personele ve malzemelere yerleştirilen çeşitli sensörlerle IoT yöntemiyle birbirleri arasında haberleşmekte, ayrıca istenilen ortama veri gönderilebilmektedir [20,21]. Dolayısıyla, bu teknoloji beton yüzeylerinin sürekli ıslak tutulması için de kullanılabilir. Bunu sağlamak için bu çalışma kapsamında beton yüzeyine sensörlere bağlı elektrotlar yerleştirilerek, beton yüzeyi kurduğunda bunun algılanması ve beton yüzeyinin sulama sistemi vasıtasıyla hemen sulanmaya başlaması üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Böylece, hem beton yüzeyi sürekli ıslak tutularak kürlenme işlemi gerçekleştirilecek, hem de şantiye ekibi bu işler için diğer işlerini bırakmak zorunda kalmayacaklardır.

## 2. Deneysel çalışma

Deneysel çalışmalar kapsamında IoT tabanlı modül geliştirilmiş ve betonlar üzerinde de uygulaması gerçekleştirilmiştir. Aşağıda deneysel çalışmaya ait detaylar sunulmaktadır.

### 2.1. Kullanılan malzemeler

#### 2.1.1. Beton bileşenleri

Beton karışımlarında CEM I 42.5 tipi Portland katkılı çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri çimento fabrikası laboratuvarında yapılmış ve sonuçların TS EN 197-1'de standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Bu çalışmada beton üretiminde, 0-6 mm kırma kum ile 6-12 mm ve 12-22 mm boyutlarında kırma taş olmak üzere üç agrega grubu kullanılmıştır. Agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 2.69, 2.70 ve 2.72'dir.

#### 2.2.2. IoT bileşenleri

IoT tabanlı beton kürlenmesini yapmak ve uzaktan izlemek için kullanılan modül bileşenleri burada listelenmiştir.

Deneysel çalışmada denetleyici olarak Arduino Uno kullanılmıştır. Bu denetleyici açık kaynaklı bir mikro-denetleyici kartıdır ve dijital ve analog giriş/çıkış pinleri sağlar. IoT modülünü destekleyecek şekilde gerekli alt yapıyı sağlamaktadır. Bir bilgisayara veya güç kaynağına da bağlanabilir. Arduino Uno'nun 5V ile 12V arasında bir gerilim ile beslenmesi yeterlidir. Nem sensörü gibi çevresel parametreleri ölçmek için birden fazla sensör doğrudan kart üzerine bağlanabilir.

Kablosuz haberleşme ve veri aktarımı sağlamak için ESP8266 Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Modül hem kablosuz ağlara bağlanabilmekte hem de kablosuz ağ erişim noktası kurabilmektedir. Bunun yanında modül kendi işlemcisine sahip olduğundan üzerindeki giriş çıkış pinleri de kullanılabilir.

Beton yüzey neminin ölçümü için Higrometre nem sensörü ve prob olarak bakır elektrotlar kullanılmıştır. Higrometre sensörü Arduino kartına bağlanarak aktif hale getirilmiştir.

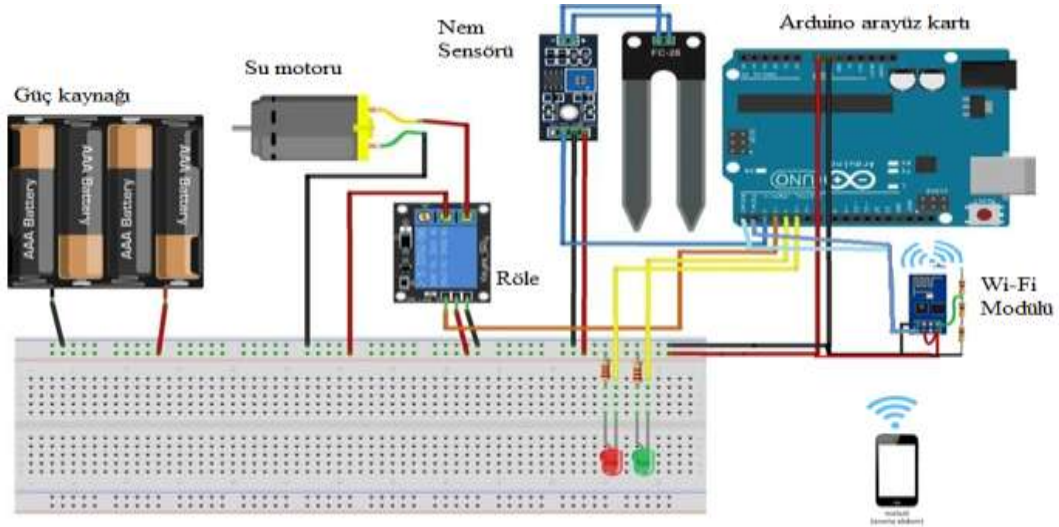
## 2.2. Materyal ve metot

### 2.2.1. Beton üretimi

Beton üretimleri, çimento miktarı  $300 \text{ kg/m}^3$ , su/çimento oranı 0,65'e göre uygun beton karışım hesabı yapılarak gerçekleştirilmiştir.  $1 \text{ m}^3$  beton karışımında agregaların karışım oranları 0-6 mm ince için %48, 6-12 mm orta için %27 oranında ve 12-25 mm iri için %25 oranında hesaplanarak karışım agregasının granülometrisi standart değerler arasında kaldığı görülmüştür. Karışım hesaplarında malzemelerin yüzey kuru suya doygun ağırlıkları esas alınarak beton üretimleri gerçekleştirilmiş, kalıplara yerleştirilmiş ve sıcaklığı  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  ve %65 nemli laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılmıştır. Betonlar, geliştirilen modül ile sürekli ıslak kür edilmiştir. Ayrıca karşılaştırma için laboratuvar ortamında bazen ıslatılma ve dış ortamda tutularak havada kür gerçekleştirilmiştir. Her bir kür tipi için 7 gün ve 28 gün sonunda beton numunelerde ultrases geçiş hızı belirlendikten sonra basınç dayanımları otomatik basınç presinde ölçülmüştür. Tek bir kür yöntemi için 6 adet 150 mm kenarlı küp numunelerinden olacak şekilde üç ayrı kür yöntemi ve iki farklı günde deney için toplam 36 adet numune üretilmiştir. IoT modülünün gerçek ortamda denenmesi amacıyla da laboratuvar dışında 500x1000 mm ebatlarında ve 20 mm kalınlığında beton plaklar üretilmiştir.

### 2.2.2. IoT ortamı oluşturma

Burada kullanılan yöntem, IoT tabanlı olup, İnşaat Mühendisliği alanında yeni bir uygulama alanına sahiptir. Arduino Uno kartına Higrometre sensörü, ESP8266 Wi-Fi modülü ve motor kontrolü için röle kablolar vasıtasıyla Şekil 1'deki gibi bağlantıları yapılmış ve 6V doğru akım güç kaynağı (4 adet 1.5V pil) ile beslenmiştir. Arduino İde programında C+ dilinde belirli bir nem değerine ulaştığında su kaynağına bağlı motorun çalışması ile ilgili kodlama yazılmıştır.



Şekil 1. Kendini kürleyen beton için geliştirilen devre şeması

### 2.2.3. Veri toplama

Günümüzde birçok veri kablosuz ağ üzerinden bulut teknolojisi kullanılarak kaydedilebilmekte ve saklanabilmektedir. Bu ortamlardan birisi de "ThingSpeak" ara yüzüdür. Geliştiricilerine göre, "ThingSpeak, İnternet üzerinden veya bir Yerel Alan Ağı üzerinden HTTP ve MQTT protokolünü kullanarak internete bağlı nesnelere veri depolamak ve almak için açık kaynaklı bir IoT uygulamasıdır. Geliştirilen beton kürlenme sisteminde de Higrometreye bağlanan bakır elektrotlar beton plaklar üzerine yerleştirilmiş ve Arduino Uno kartına güç verildikten sonra ESP8266 modülü aracılığı ile sensörden veriler kablosuz olarak alınarak "ThingSpeak" ortamına anlık olarak kaydedilmesi sağlanmıştır.

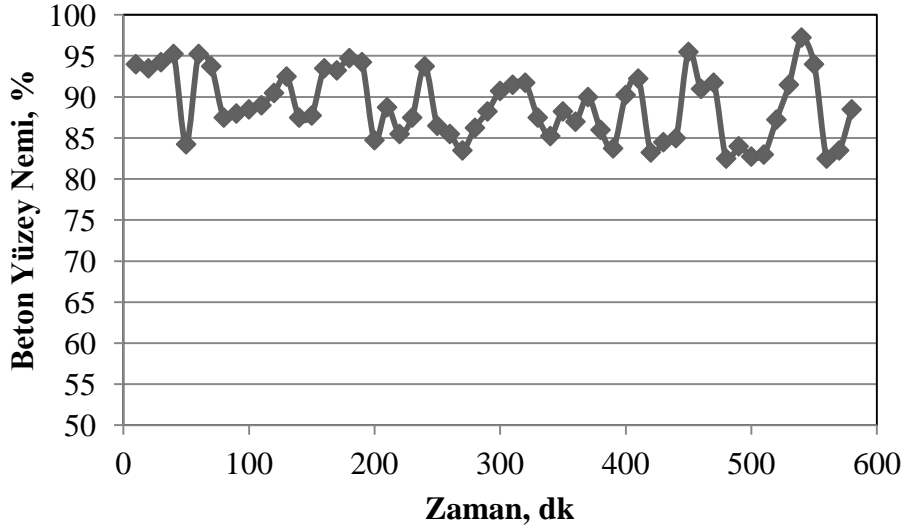


Şekil 2. IoT tabanlı kontrol sistemiyle laboratuvar ölçekli betonların kendini algılaması

Sensörlerdeki veriler mikro-denetleyici kart olan Arduino Uno tarafından sürekli olarak denetlenerek belirli bir nem değerinin altına düştüğünde (bu çalışmada %82 olarak belirlendi) yine mikro-denetleyiciye bağlı olan su motorunun çalışmasını sağlamış ve böylece beton plaklar yanında bulunan su püskürtme aparatı ile beton yüzeyler sulanmaya başlamıştır. Sulama sonucunda betonun yüzeyindeki nem değeri belirli bir değere ulaştığında ise (bu çalışmada %95 belirlendi) yine mikro-denetleyici tarafından sinyal gönderilerek sulama motorunun kapanması sağlanmıştır. Böylece IoT kapsamında, hem beton ile su motoru haberleşmiş hem de beton yüzeyindeki veriler kablosuz olarak "ThingSpeak" arayüzünde kaydedilmiş ve istenilen bir yerden internet aracılığı ile izlenebilmiştir.

### 3. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

IoT tabanlı kendini kurlayan beton uygulamasında beton yüzeyinden kablosuz ağ aracılığı ile alınan nem değerleri bir cep telefonu vasıtasıyla internete bağlanılabilen herhangi bir yerden izlenebilmiş ve alınan verilerin bir bölümü deneysel çalışmanın uygunluğunu ortaya koymak için Şekil 3'te sunulmuştur. Grafikteki beton yüzey nem değerleri incelendiğinde, inişli-çıkışlı olduğu görülmektedir. Buradaki inişe sahip olan çizgiler veya değerler, beton yüzeyinin ortam sıcaklığına bağlı olarak bir miktar kurduğunu ve dolayısıyla nem değerinin azaldığını göstermektedir. Nem değeri %82 civarına kadar azaldığında, IoT tabanlı geliştirilen modüle bağlı su motorunun çalışarak beton yüzeyine su püskürtmesi sağlanmıştır. Grafik üzerindeki verilerin artması, sulama sonucunda beton yüzey neminin arttığını göstermektedir. Sulama ile beton yüzey nemi %95 civarına ulaştığında ise nesnelere (beton ve su motoru) birbiriyle haberleşerek su motorunun kapanması sağlanmıştır. Geliştirilen bu modül ile bakır elektrotlar ve sensörler çalıştığı müddetçe bu işlem devam edecektir. Kaliteli bir beton elde etmek için bu uygulamanın en az 7 gün boyunca çalıştırılması gereklidir. Dolayısıyla bu devre elemanları çalıştırıldığı sürece beton yüzeyi sürekli olarak ıslak halde tutulmuş olacaktır. Bu işlem sırasında da herhangi bir çalışana da ihtiyaç olmamaktadır.

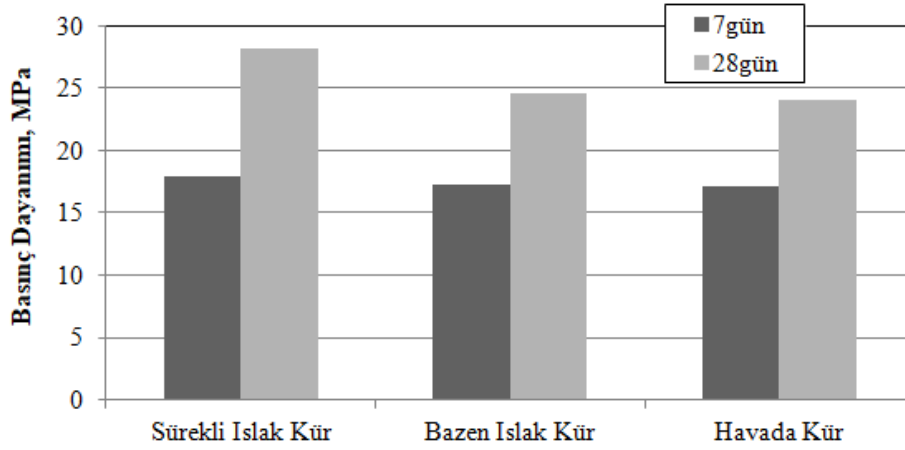


Şekil 3. Kendini kürleyen beton yüzeyinden kablosuz ağ üzerinden alınan nem değerleri

Kendini kürleyen akıllı beton sisteminde, su motorunun çalışma aralığı tamamen alt ve üst sınır değerleri yazılımda tanımlanacak olan beton yüzey nem değerlerine bağlı olacaktır. Beton yüzey neminin değişimi ise beton elemanın döküldüğü mevsim koşulları ve gün içerisindeki zamana göre hava sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterecektir. Dolayısıyla, bu sistemdeki su motorunun veya sulama sisteminin çalışıp durması için her yerde kullanılacak belirli bir zaman aralığı tayin edilmemektedir. Sonbahar gibi suyun buharlaşmasının az olduğu hava sıcaklıklarında beton yüzeyindeki nem miktarı da hızlı bir şekilde değişmeyeceğinden, sulama süreleri uzun olmakla birlikte; yaz aylarında hava sıcaklığının artmasıyla birlikte buharlaşma da artacağından beton yüzeyi hızlı nem kaybedecek ve bu nedenle de sulama sistemi daha sık aralıklarda çalışması gerekecektir. Ancak, bu sistemin en iyi yanı, hava sıcaklığı ne olursa olsun, beton yüzeyinin sürekli olarak ıslak kalmasını sağlayacak olması ve rötreden oluşacak dayanıklılık sorunlarını en aza indirecek olmasıdır.

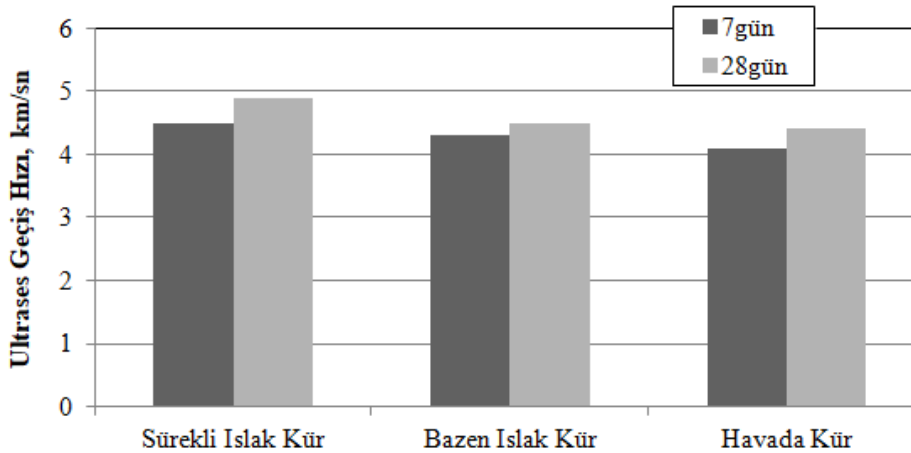
Beton dayanımları ve betonarme hesaplar betonun 28 günlük karakteristik dayanımına göre yapılır. Bilindiği gibi, beton 7 günde öngörülen 28 günlük dayanımın yaklaşık %70'ine ulaşmaktadır. Bu durumda betonun 28 günlük dayanımı, özellikle ilk yaşlardaki bulunduğu ortamın nem oranı ve sıcaklığın etkisi altında değişmektedir (Erdoğan, 2003). Bu nedenle, dökülen betonda ilk 7 gün sürekli ıslak kalması ve hidratasyon ürünlerinin gelişmesi için IoT tabanlı modül geliştirilmiş ve sürekli ıslak betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları diğer farklı kür yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak Şekil 4'te verilmiştir. İlk 7 günde farklı kür koşullarındaki betonların basınç dayanımları neredeyse birbirine eşit olduğu görülmektedir. Betonun içindeki serbest suyun varlığı veya ara sıra sulamak bile betonun ilk zamanlardaki hidratasyonunun gelişimi için yeterli olmuş gibi görünse de bu süreç aşlında ileriki günlerdeki dayanım kazanımlarını doğrudan etkilemiştir. Sürekli ıslak tutulan betonun 28 günlük basınç dayanımı yaklaşık 28 MPa iken, bazen sulanan betonun dayanımı %10 oranında değer kaybederek 24.9 MPa değerine; dış ortamda kür edilen betonun dayanımı da sürekli ıslak olan betonun basınç dayanımına göre %14 oranında azalmıştır. Dış ortamda bekletilerek kürlenene betondaki su kaybı buharlaşarak daha fazla olduğundan, en fazla dayanım kaybı da bu betonlarda görülmüştür. Sürekli ıslak olanlarda hidratasyon ürünleri diğerlerine göre çok daha iyi gelişerek basınç dayanımının artması sağlanmıştır.





Şekil 4. Kür tipleri açısından beton basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Beton kalitesinin göstergesi olarak değerlendirilen tahribatsız deneylerden birisi de ultrases geçiş hızıdır. Malzemelerin içerisinde geçen ses dalgalarının geçiş süreleriyle ilişkili olarak boşluklu yapı hakkında ve dolayısıyla malzeme kalitesi hakkında fikir elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da farklı kürlere maruz bırakılmış betonların kaliteleri bu yöntemle değerlendirilmiştir (Şekil 5). Farklı kürlere bekletilen betonların ultrases geçiş hızları açısından 7 ve 28 günlük değerlere göre sürekli ıslak tutulan betonların ultrases geçiş hızları diğerlerine göre daha yüksek değerler almıştır. Diğer kür tiplerindeki betonlar ise birbirleriyle neredeyse eşit değerler aldıkları görülmektedir. Dolayısıyla sürekli ıslak olan betonların kalitesi de diğerlerine göre daha iyi olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Kür tipleri açısından beton ultrases geçiş hızlarının karşılaştırılması

Laboratuvar ortamında beton plaklar üzerinde uygulaması yapılan IoT tabanlı modül ile sadece bakır elektrotların sayısı arttırılmak suretiyle oluşturulan düzeneğin aynısı Şekil 6'daki gibi şantiye ortamında da kolaylıkla kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus; beton yüzeye yerleştirilen bakır elektrotlar su püskürtme aparatına yakın olursa nem değeri hızlı bir şekilde üst sınıra ulaşacak ve sulama kısa sürecektir. Betonun kenara yakın bölgeleri sulanamayabilir. Bunu önlemek için elektrotların betonun kenara yakın veya hızlı kuruyacak bölgelerine yerleştirilmesi gereklidir.



Şekil 6. Geliştirilen yazılımla şantiyedeki beton yüzeyin sürekli ıslak tutulmasının sağlanması

Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, IoT tabanlı kürleme sistemi sayesinde kalıbına dökülen betonların hem ilk zamanlarda hem de en kritik süreç olan en az 7 gün boyunca aralıksız olarak beton yüzey nemi sensörler ve mikro-denetleyiciler ile kontrol edilecek ve sürekli olarak ıslak kalmaları sağlanabilmektedir. Bu sayede hem beton yüzeylerdeki rötne nedeniyle oluşacak çatlaklar önlenecek ve kaliteli ve dayanım değerleri nispeten yüksek olan betonların üretimine imkan sağlanacaktır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma, IoT tabanlı olarak çalışan, sensörler aracılığıyla nem seviyesini algılayarak su püskürtme sisteminin çalışmasını sağlayan beton üretimi üzerine gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda üretimi yapılan beton plakaların yüzey nemi istenilen aralıkta sürekli olarak ıslak halde başarıyla tutulabilmektedir. Bu modülün en iyi yanı, ister serin havalarda isterse sıcak havalarda, çalışanların betonu sulaması beklenmeden, beton yüzeyinin sürekli ıslak tutulması sağlanmıştır. Beton yüzey neminin sürekli kontrolü sayesinde beton yüzeyi ile sulama motorunun haberleşmesi sağlanarak beton yüzeyinin istenilen nem aralığında tutulabilmesi sağlanmıştır. Yerinde veya prefabrik olarak kalıplara dökülen beton elemanlar için önemli bir zaman dilimi olan ilk 7 gün süresinde betonun sürekli ıslak kalması sağlanarak daha kaliteli betonlar üretilebilecektir. Geliştirilen modülün en önemli faydalarından birisi de beton yüzey neminin kablosuz ağlarla internet üzerinden anlık olarak istenilen yerden bir cep telefonundan bile takip edilebilir olmasıdır.

#### Kaynaklar

- [1] Özalp, F., Şengül Ö., Taşdemir, M.A., Kür Koşulları ve Tecrit Malzemesinin Betonun Geçirimsizlik ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Hazır Beton, Temmuz-Ağustos, 2015, 69-74.
- [2] Erdoğan, T.Y., “Beton”, O.D.T.Ü., Ankara, 2003
- [3] Bullard, J.W., Jennings, H.M., Livingston, R.A., Nonat, A., Scherer, G.W., Schweitzer, J.S., Scrivener, K.L., Thomas, J.J., Mechanisms of cement hydration, Cement and Concrete Research, 2011, 41(12), 1208-1223.
- [4] Ings, J. B., Brown P.W., Frohnsdorff, G., Early hydration of large single crystals of tricalcium silicate, Cement and Concrete Research, 1983, 13, 843-848.
- [5] Garrault, S., Finot, E., Lesniewska, E., Nonat, A., Study of C-S-H growth on C<sub>3</sub>S surface during its early hydration, Mater. Structures, 2005, 38, 435-442.



- [6] ASTM C192 / C192M, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory ([www.astm.org](http://www.astm.org))
- [7] ASTM C31 / C31M, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field ([www.astm.org](http://www.astm.org))
- [8] Montaser, A., Moselhi, O., RFID indoor location identification for construction projects, *Automation in Construction*, 2014, 39, 167–179.
- [9] Cai, H., Andoh, A.R., Su, X., Li, S., A boundary condition based algorithm for locating construction site objects using RFID and GPS, *Adv. Eng. Inform.*, 2014, 28, 455–468.
- [10] Zhou, S, Deng, F, Yu, L, Li, B, Wu, X, Yin, B, A Novel Passive Wireless Sensor for Concrete Humidity Monitoring, *Sensors*, 2016, 16(9), 1-15.
- [11] Caizzone, S., Giampaolo, E.D., Wireless Passive RFID Crack Width Sensor for Structural Health Monitoring. *IEEE Sensors Journal* 2015, 15, 6767–6774.
- [12] Leon-Salas, W., Halmen, C., A RFID Sensor for Corrosion Monitoring in Concrete. *IEEE Sensors Journal*, 2015, 16, 32–42.
- [13] Kamoi, A., Okamoto, Y., Vavilov, V., Study on Detection Limit of Buried Defects in Concrete Structures by Using Infrared Thermography. *Key Engineering Materials* 2004, 270-273, 1549-1555.
- [14] González-orge, H., Gonzalez-Aguilera, D., Rodriguez-Gonzalvez, P., Monitoring biological crusts in civil engineering structures using intensity data from terrestrial laser scanners. *Construction and Building Materials* 2012, 31, 119-128.
- [15] Ravet, F., Briffod, F., Glisic, B., Nikle, M., Inaudi, D., Submillimeter crack detection with Brillouin-based fiber-optic sensors. *IEEE Sensors Journal*, 2009, 9, 1391-1396.
- [16] Ramakrishnan, M., Rajan, G., Semenova, Y., Farrell, G., Hybrid Fiber Optic Sensor System for Measuring the Strain, Temperature, and Thermal Strain of Composite Materials. *IEEE Sensors Journal*, 2014, 14, 2571-2578
- [17] Abdelgawad, A., Yelamarthi, K., Internet of Things (IoT) Platform for Structure Health Monitoring, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017, Article ID 6560797, 1-10
- [18] Misra, D., Das, G., Das, D., An IoT based building health monitoring system supported by cloud, *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 2020, 6, 41-152.
- [19] Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., Woelfflé, S., Vision and challenges for realising the Internet of Things. Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commission, 2010, 3(3), 34-36.
- [20] Phanish, D., Garver, P., Matalkah, G., Landes T., Shen F., Dumond J., Abler R., Zhu D., Dong X., Wang Y., Coyle, E.J., A wireless sensor network for monitoring the structural health of a football stadium. 2015 IEEE 2<sup>nd</sup> World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (471-477).
- [21] Hossain M., Muhammad G., Cloud-assisted industrial internet of things (IoT)-enabled framework for health monitoring. *Computer Networks*, (2016), 101, 192-202.