

## BETONARME YAPILARDAKİ DEMİR DONATILARIN MANYETİK KAÇAK AKI YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

**Mustafa Göktepe<sup>1</sup>, Deniz Perin<sup>2</sup>, Ali Oral<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>[goktepe@balikesir.edu.tr](mailto:goktepe@balikesir.edu.tr), Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 10145 Balıkesir

<sup>2</sup>[dnzprn@gmail.com](mailto:dnzprn@gmail.com), Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 10145 Balıkesir

<sup>3</sup>[alioral@balikesir.edu.tr](mailto:alioral@balikesir.edu.tr), Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145 Balıkesir

### ÖZET

Betonarme yapılardaki demir donatıların manyetik kaçak akı yöntemiyle incelenmesi günümüz uygulamalarında önemli yer tutmaktadır. Özellikle depremlerde oluşan tahribatların hızlı bir şekilde algılanmasında bu uygulamalar ciddi anlamda ön plana çıkmaktadır. Depremlerin yanı sıra yapı kontrolörlerinin denetim uygulamalarında betonarme blokların içindeki demir donatının görüntülenmesi ile uygulamalarda kullanılan demir çubukların kesitsel özellikleri ayrıntılı bir biçimde görüntülenebilmektedir. Manyetik kaçak akı yöntemi tahribatsız bir yöntem olduğu için karot almaya ihtiyaç olmadığı için özellikle betonarme yapıya ve içindeki demir donatıya her hangi bir zarar vermemektedir. Manyetik kaçak akı yönteminde, U-şeklindeki bir demir çubuğun uçlarına yerleştirilen manyetize edici bobinlerle manyetize edilen sistem 500 sarımlık demir çekirdekli bir sensörün kullanılması ile yüzeyden kaçan akı kaçaklarını yakalamada önemli bir yer tutmaktadır. 500 sarımlık demir çekirdekli sensör demir çubuk üzerine geldiğinde indüklenen sinyal seviyesi maksimuma çıkmakta olup iki çubuk arasındaki betonla dolu bölgede ise sinyal seviyesi minimuma inmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetik akı kaçağı, Manyetik alan ölçümü, Tahribatsız test

### ABSTRACT

Inspection of rebars in concrete blocks is most important issue for civil engineering applications, such as reinforcing the damaged buildings, bridges, power stations and nuclear plants. This study is concerned with research and development of a nondestructive rapid inspection technique for rebars in concrete blocks. An inductive scanner is designed and tested to generate dimensionally accurate images of steel reinforcing components that embedded within reinforced and pre-stressed concrete for condition assessment and structural integrity monitoring. The system was locally magnetized by a U-core, then an iron core with 500 turns search coil sensor was used to capture flux leakage from surface of the concrete block at certain currents and magnetization frequencies. Most MFL tools rely on active magnetization in which the rebar is magnetized to near saturation by using a soft iron U-core and two magnetization coils. The flux leaking between two rebars is measured at the surface of the concrete. The magnitude of the leakage flux density

depends on strength of the magnetization, magnetic properties of rebar material and running conditions such as velocity and stress.

**Keywords:** Magnetic Flux Leakage, Magnetic field measurement, Nondestructive Testing

## 1. GİRİŞ

Genel olarak manyetik akı kaçakları yöntemiyle yapılan çalışmalarda incelenen sisteme hiç bir hasar vermeden betonarme yapı içindeki demir donatılar görünür hale getirilebilmektedir. Bu nedenle bu yönetime "*Tahribatsız Test Tekniği (TTT yada 3T)*" denilmektedir [1]. Tahribatsız test yöntemiyle yapılan incelemelerde çalışılan örnek hiçbir şekilde uygulanan yöntemden dolayı deforme olmamaktadır.

3T yöntemi en genel anlamda uygulanan sistemlere zarar vermediği için betonarme yapıların incelenmesinde ön plana çıkmakta olup özellikle betonarme köprülerin, binaların, barajların, nükleer güç santrallerinin ve günlük yaşam alanlarımızın incelenmesinde önemli yer tutmaktadır.

Betonarme yapıların incelendiği birçok test mevcut olup bunlardan bir kısmı manyetik kaçak akı yönteminde olduğu gibi tamamen tahribatsız olmasının yanı sıra bazıları ise karot alma yönteminde olduğu gibi kısmen tahribatlı yöntemlerden oluşmaktadır.

Bazı test yöntemlerinde ise numune betonarme yapıya asılma ve sıkıştırma testleri uygulandığında numune üzerinde oluşan kırılma ve bozulmalar testten sonra tamir edilerek testin etkilerinin ortadan kaldırılmaya çalışılması gerekmektedir [2].

Betonarme yapının özellikleri tamamen tahribatsız veya kısmen tahribatlı yöntemler kullanılarak incelenebilmektedir. Bu durumda yapılan incelemeler ile çalışılan örneğin temel özelliklerinin yanı sıra, yoğunluğu, elastik modülü, oluşan iç gerilmeler, yüzey sertliği, yüzey soğurmaları yanı sıra örneğin boyutları ölçülebilmektedir [2].

3T yöntemi ile yapılan tahribatsız incelemelerde mühendisler, yüzey altı özelliklerinin yanı sıra betonarme yapılarda olduğu gibi, sistem içinde bulunan demirlerin görüntülenmesi ve elde edilen bu görüntüleme ile incelenen numunenin iç yapısı hakkında bilgi almak ve oluşmuş olan kusurların tesbit edilmesine yardımcı olmaktadır [3].

## 2. TAHRİBATSIZ TEST TEKNİĞİ (3T) YÖNTEMLERİ

Tahribatsız Test Tekniği (TTT=3T) olarak da bilinen NDT yada 3T , dahili arızaları ve bozulmaları tanımlamak ve incelemek için materyallerin, bileşenlerinin ve bağlantılarının değişik yöntemlerle incelenmesini kapsar. 3T'nin amacı, bozulmaya yol açmadan materyal özelliklerini değerlendirmek, üretim öncesi ürün kalite ve performansını sağlamak olduğu kadar, mühendislik yapılarının güvenli kullanımını da sağlamaktır.

Yapı denetimi için kullanılan 3T teknikleri ile kullanılan betonun kalitesi ve mevcut durumu incelenebilmektedir. Bunun yanında beton yapı içinde kullanılan demir donatı da gözlenebilmektedir. Var olan tekniklerle yapılan ölçümler sonucunda alınan veriler analiz edildiğinde beton yapı ve demir donatı hakkında önemli bilgilere ulaşılmaktadır. Daha fazlası

olarak ta gözle görülmeyen ama yapının sağlamlığını etkileyebilen beton yapı içerisindeki gizli çatlak ve boşluklar, demir donatı üzerindeki çeşitli deformasyonlar (kırılma, kopma, paslanma vb.) genel adı ile deliminasyon doğru bir şekilde algılanabilmektedir.

Her 3T tekniğinin kendine özgü avantajı olduğu gibi kesin ve net bilgi vermede sınırları bulunmaktadır. Tek başına hiçbir 3T kesin bir sonuç veremeyebilir. Özellikle ölçülen materyalle ölçüm yapılacak 3T yönteminin belirlenmesinden sonra test değişkenlerinin düzgün bir şekilde kalibre edilmesiyle yapılacak ölçümler daha doğru sonuçlar verecektir.

Beton yapı için 3T analiz yöntemlerine göz atılırsa :

1. Radyografik Metotlar (Radiographic Methods)
2. Yeraltı Radarları (Ground Penetrating Radar – GPR)
3. Saçılan Işın Metodu ( Backscatter Radiometry )
4. Darbeli Ses Tekniği (Impactecho )
5. Akustik Ölçüm Tekniği (Acoustic Emission Monitoring)
6. Kaçak Akı Metodu ( Magnetic Flux Leakage – MFL)
7. Kızıl Ötesi ile Isısal Ölçüm Metodu (Infrared Thermography)

## 2.1 Radyografik Metotlar (Radiographic Methods):

Bu teknikte bir kaynaktan çıkan X, beta ve gamma ışınları kullanılmaktadır [1]. Bu sistemde alınan ölçümlerde, ölçüm yapılan yüzeyden gönderilen ışınların yapının diğer tarafında dedekte edilmesi gerekmektedir. Bu sebepten bu teknikle yapılacak taramada yapının iki yüzeyine birden ulaşılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde toplanacak veriler yapıdaki değişimi rahat bir şekilde belirlemektedir [1-6].

Görüntüleme, film üzerine veya anında monitöre yansıtılarak yapılmaktadır. Film üzerine yapılan ölçüm yaklaşık 30 dakika sürmektedir. Yapı kalınlığı artırıldığında ölçüm süresi artmaktadır [2]. Sistem için kalınlık limiti 600 mm olarak belirlenmiştir [2,3]. Bu teknik; boşlukları, ön gerilmiş halatları ve ön gerilmiş halatların içinden geçtiği kanalları belirlemede uygun bir yöntemdir. Alınan veriler sonucunda bu sistemin diğer ölçümler (çatlaklar, paslanma vb.) için uygun olmadığı gözlemlenmiştir [2, 5].

Bu yöntemde radyoaktif maddeler kullanıldığından tehlikeli olmasının yanında uygulama esnasında deneyimli ve özel donanımlı bir elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Radyoaktif sistem test süresince insan sağlığı olumsuz yönde etkileyebilmektedir [2, 4, 6]. Bahsedilen teknik 1968’ den beri Fransa’ da rutin olarak kullanılmaktadır. Genel olarak yapı incelemesinde kullanılan X-ışını kaynağı Betatron (İngiltere), çizgisel hızlandırıcılardan Scorpion II (Fransa) ve MINAC (ABD) olarak verilebilir.

## 2.2 Yeraltı Radarları (Ground Penetrating Radar – GPR):

Beton yapı içerisine gönderilen 1,5 GHz dolaylarında yüksek frekanslı, düşük enerjili elektromanyetik dalgalar, değişik dielektrik sabitlerine sahip bölgelerden (demir çubuklar, boşluklar ve kanallar gibi) yansımalarının ölçümü ile yapılan bir sistemdir [1,9,10]. Yapı içerisine giren bir elektromanyetik dalga, yol alırken farklı bir yüzey ile karşılaştığında dalganın bir kısmı bu yüzeyden geriye yansırken kalan kısım ise diğer bölgeye doğru hareketini devam ettirmektedir [6]. Bu farklı yüzeylerden farklı özelliklerle yansıyan dalga algılanıp işlenirse yapı hakkında değişik

bilgilere ulaşılabilir. Bu yapılardan alınan sinyallerin Fourier dönüşümleri yapıldıktan sonra veriler daha net hale gelmektedir [10].

Radar ile yapılan ölçümün tam doğru olabilmesi için bu yapı hakkında ön bilgiye sahip olmak gerekir [2,9,10]. Netleştirilen ve yorumlanan sinyaller demir donatının, kanalların ve boşlukların pozisyonları ve derinlikleri hakkında bilgi vermektedir [2,8,9,10]. Bu sistemi öne çıkaran özellik ise ön gerilmeli halatların algılanması sırasında demir donatı hakkında da bilgi verebilmesidir [9,10]. Kalınlık limiti olarak belirtilen genişlik yaklaşık 1 metredir [10]. Yapı kalınlığının artması gönderilen dalganın giricilik etkisini azaltacağından sistemin çözünürlüğünü de azaltmaktadır [6,9,10]. Sistem küçük çatlak ve boşluklar için etkili bir sonuç verememektedir [9,10].

### **2.3 Saçılan Işın Metodu (Backscatter Radiometry):**

Bir çerçeve içine monte edilen kontrol altındaki gama kaynağı ve gama detektörünün oluşturduğu bir ölçme sistemidir. Yüzey üzerine yerleştirilen bu sistem beton yapının içine giren ve yansıyan radyasyonu ölçmektedir [8]. Bu sistem ile ön gerilmiş halatların saptanamadığı gibi sistemin sınırlamaları oldukça fazla olup etkili olarak korozyona bağlı büyük boşluklar saptanabilmektedir [8]. Elde edilen sinyaller, yüzey özellikleri ve hava koşulları tarafından etkilenmektedir [6]. Giricilik etkisi yoğunlukla orantılı olduğundan yakın yoğunluk değerlerine sahip bölgeler için çözünürlüğün artırılması gerekmektedir [8].

### **2.4. Darbeli Ses Tekniği (Impactecho):**

Bu teknikte seçilen test yüzeyi üzerinde stres etkisi oluşturabilecek ses dalgası kullanılmaktadır. Bu dalga üç dalga çeşidi şeklinde yol almaktadır. Bunlar; beton içerisinde ilerleyebilen P<sub>-</sub> (genişleyen) ve S<sub>-</sub> (bükülen), yüzey üzerinde yayılan Rayleigh dalgalarıdır. P<sub>-</sub> ve S<sub>-</sub> dalgaları beton yapı içerisinde yol alırken boşluk, çatlak ve demir donatı etrafında değişime uğramaktadır. Bu değişim yüzey üzerinde bulunan transduserlar tarafından algılanmaktadır [11-15]. Alınan ölçümlerle yapılan Fourier transformu kullanılarak analiz edildiğinde boşluklar, ön gerilmeli çelik halatlar ve demir donatı tespit edilebilmektedir. Yapılacak ufak hesaplamalar sonucunda kusurların (deliminasyon) derinliği de belirlenebilmektedir. Darbeli ses metodu boşlukların ve demir donatının üzerindeki deliminasyonların belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [11-15]. Ama teknik korozyon ve kanallar hakkında bilgi verememektedir. Bunun yanında farklılıklar gösteren beton kalitesi ve hava koşulları sinyal kalitesini etkilemektedir. Hatta demir donatı altında oluşacak bir boşluk sonuçların yanlış çıkmasına bile sebep olabilir [14].

### **2.5. Akustik Ölçüm Tekniği (Acoustic Emission Monitoring):**

Bu metot ultrasonik ses dalgasının yapı içinde ilerlerken, çatlak ve kusurlu bölgelerin bu ilerleme hızı üzerinde oluşturduğu etkilerle ilgilenen bir ölçüm tekniğidir. Bu etki yapı yüzeyinde bulunan transduser tarafından algılanmaktadır [5, 6, 16]. Bu teknik beton yapının içinde ve dışında bulunan halatlar ve demir donatının tespitinin yanında beton yapının hakkında da net bilgiler toplayabilmektedir [16-19].

### **2.6. Kızılötesi ile Isısal Ölçüm Metodu (Infrared Thermography):**

Beton içinde bulunan çatlaklar ısı iletimini etkiler. Yapı içinde bulunan deliminasyon veya boşluklardan dolayı oluşan farklı sıcaklık yüzeylerinin algılanması üzerine kurulmuş bir ölçüm

teknikiğidir [22]. Bu teknik daha çok köprü ve viyadük ayaklarındaki beton yapı içinde bulunan çatlakların yer tespitinde, demir donatının yerinin bulunmasında ve yeni bir yöntem olan bina yapımında kullanılan ön gerilmiş halatların yerlerinin belirlenmesinde de kullanılabilir [22].

## 2.7. Manyetik Kaçak Akı Metodu (Magnetic Flux Leakage - MFL):

MFL yoğun olarak kullanılan, basit olmasının yanında ucuz bir 3T tekniğidir. Dışarıdan uygulanan manyetik alan beton yapı içinde bulunan demir çubukların üzerine geldiğinde var olan akı yoğunluğu değişime uğramaktadır. Bu değişimin detekte edilmesiyle ölçüm yapılabilmektedir [20-22]. Elde edilen bu sinyaller işlenerek demir donatı hakkında bilgiler edinilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede demir çubukların yeri, derinliği ve üzerinde oluşan deformasyonlar belirlenebilmektedir.

## 3. DENEYSEL SİSTEM

DeneySEL sistem genel itibariyle bir platform üzerine oturtulmuştur. Bu platformun üzerinde manyetize edici U-çekirdek hem x hem de y yönlerinde hareket ettirilip algılayıcı çıkış sinyal değerleri toplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Sağa ve sola hareket ettirebilen U-çekirdeğin etrafına sarılmış bobinler manyetize edici sistemi oluşturmaktadır. Bobinlerde oluşan manyetik alan demir çekirdekteki manyetik momentleri mıknatıslanma vektörüne paralel olacak şekilde yönlendirir ve platformun altında manyetik akı çizgileri oluşturur. Aynı zamanda oluşan bu manyetik akı yoğunluğu

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (\text{Tesla}) \quad (1)$$

olarak da yazılabilir. Burada  $\mu$  malzemenin manyetik geçirgenliği,  $M$  ise malzemenin mıknatıslanmasıdır.  $B$  ise manyetik akı yoğunluğu olarak ifade edilir ve SI'daki birimi Tesla'dır.

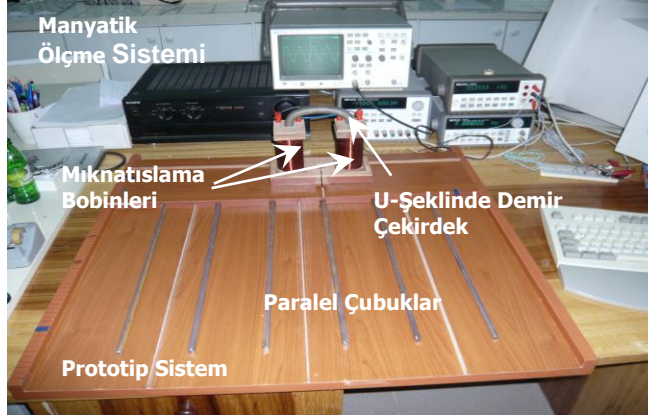
Oluşan manyetik akı yoğunluğu ve mıknatıslanma hesaplanabildiği gibi kolay bir şekilde de ölçülebilir. Hava çekirdekli bir selonoidin etrafına sarılacak ufak bir sarımla selonoidin o kesitindeki manyetik alan ya da selonoidin manyetizasyonu bulunabilir. Demir çekirdekli bir selonoidin manyetik alanı veya manyetizasyonu hesaplanmak istenirse yine selonoidin üzerine yapılacak bir sarımla o kesitteki toplam manyetik alan ya da manyetik akı ölçülebilir. Demir çekirdek üzerine yapılacak bir sarımla ise demir çekirdeğin manyetizasyonu bulunabilir.

Manyetize edici bobinler sistem için gerekli manyetik alanı sağlamaktadır. Bobinlere verilen akım bu bobinlerin içinde manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan demir çekirdeği mıknatıslar ve sistem için gerekli manyetik alan elde edilir. Bu oluşan manyetik alanın değişimi manyetik sistemin özünü oluşturmaktadır. Eşitlik (2) de verildiği gibi mıknatıslanma ise manyetik bir malzemedeki birim hacim başına düşen dipol moment sayısı olarak ifade edilir.

$$M = \frac{\sum_i m_i}{\Delta V} \quad (2)$$

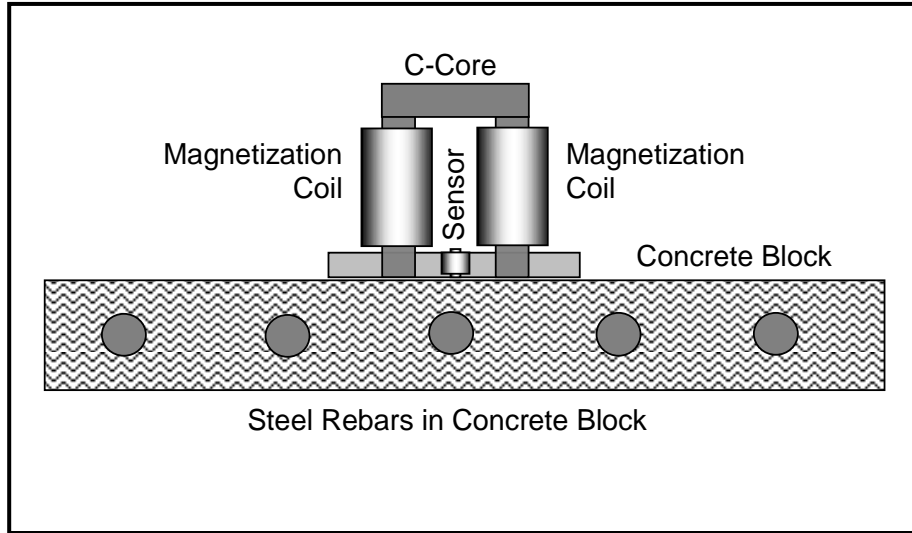
Bu sistem için oluşan manyetik alan şiddeti gaussmetre kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümde demir çekirdeğin bir kolunda oluşan manyetik alan şiddeti  $B \sim 100$  gauss olarak belirlenmiştir. Oluşturulan platform üzerindeki demir çekirdekli bobinlere akım verildiğinde bobinlerin içinde ve dışında manyetik alan oluşmaktadır. Bobinlerin içinde oluşan bu alan demir çekirdek tarafından odaklanır ve platformun altında kapalı bir yol izleyen manyetik akı çizgilerini

oluşturur. Şekil 1.'de verilen deneysel düzende U-çekirdeğin pozisyonu ve çekirdeğin kollarına takılan manyetize edici solenoidler görülmektedir. Ayrıca, ölçme sistemindeki HP3310A sinyal jeneratörü, 2A kadar mıknatıslama akımı elde edebildiğimiz SONY güç amplifikatörü, HP3410A osiloskop ve diğer ölçüm sistemleri verilmektedir. Deneysel sistemdeki demir çubuklar üzerinde iki yönde kayabilen düzenek detaylı bir şekilde verilmektedir.



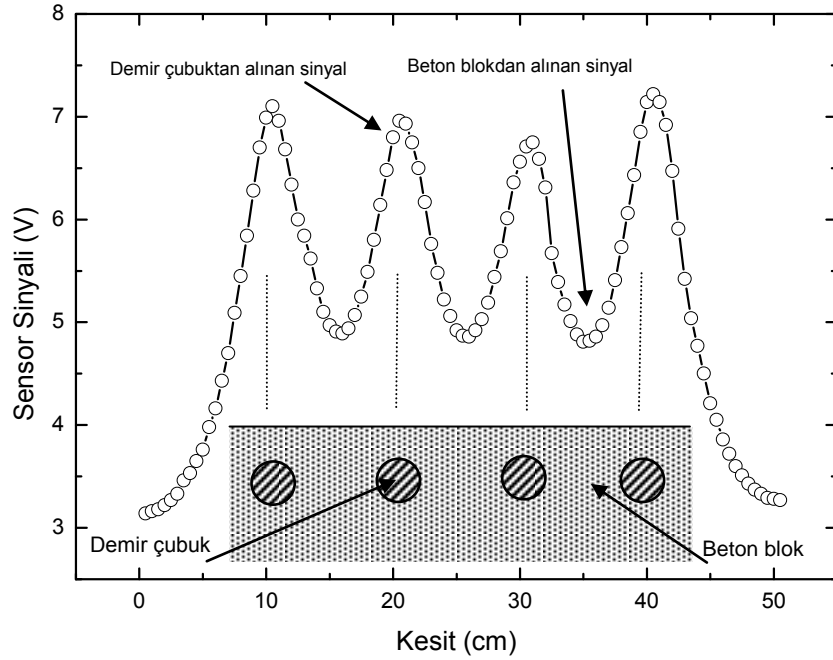
Şekil 1. Manyetik Ölçme sistemi.

Şekil 2'de manyetize edici sistemin şematik diyagramı verilmekte olup, bu sistemde manyetize edici solenoidlerin pozisyonu ile demir çekirdekli N=500 sarımlı manyetik sensör verilmiştir. Ayrıca, beton donatı içindeki demir çubukların pozisyonunda şekildeki gibi verilmiştir. Beton çubuklarla beton yüzeyi arasındaki paspayı net olarak görülmektedir.



Şekil 2. Manyetize edici sistemin şematik diyagramı [23].

Şekil 3.'de ise taranan bir beton bloktan elde edilen sinyal görüntüsü verilmekte olup, beton bloktan alınan sinyalle demir donatıdan gelen sinyal karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Betonarme yapıdaki demir donatıdan alınan sinyalle beton bloktan alınan sinyalin karşılaştırılması

Şekil 4'de çift solenoidli manyetize edici sistemle demir çekirdekli 500 sarımlı sensör verilmiştir. Manyetize edici sistem manyetik akı kaynağı gibi davranarak üretilen manyetik akı beton blok içindeki demir donatıyı manyetize ederek demir çekirdekli sensör üzerinde sinyal indüklenmesine neden olmaktadır. Bu şekilde okunan sinyaller değerlendirilerek beton blok içindeki demir donatının durumu hakkında bize bilgi vermektedir.



Şekil 4. (a) Manyetize edici sistem (b) Demir çekirdekli manyetik sensör

Şekil 5.'de görüldüğü üzere U-çekirdekli manyetize edici sistemin hareket yönüne bağlı olarak farklı sinyal okumaları mümkün olmaktadır. Şekil 5(a)'da görülen sistemde U-çekirdekli manyetize

edici system donatı içindeki demir çubuklara paralel olarak hareket etmekte ve buna bağlı olarak Şekil 6'daki paralel okuma sinyali manyetik sensör üzerinde indüklenmektedir.

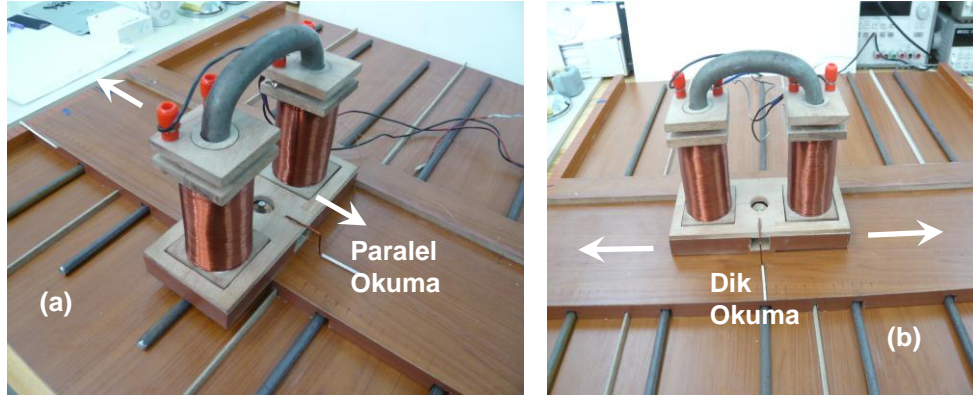
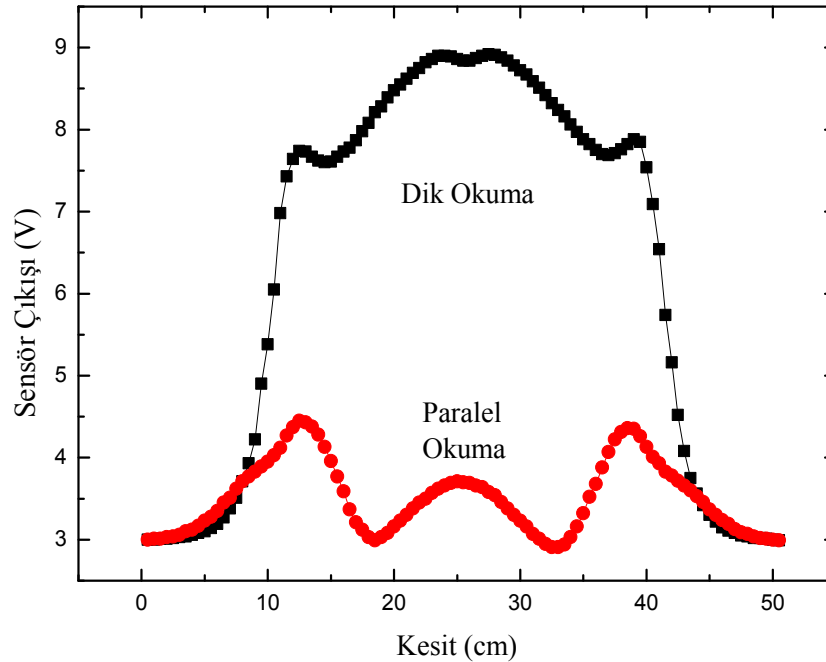


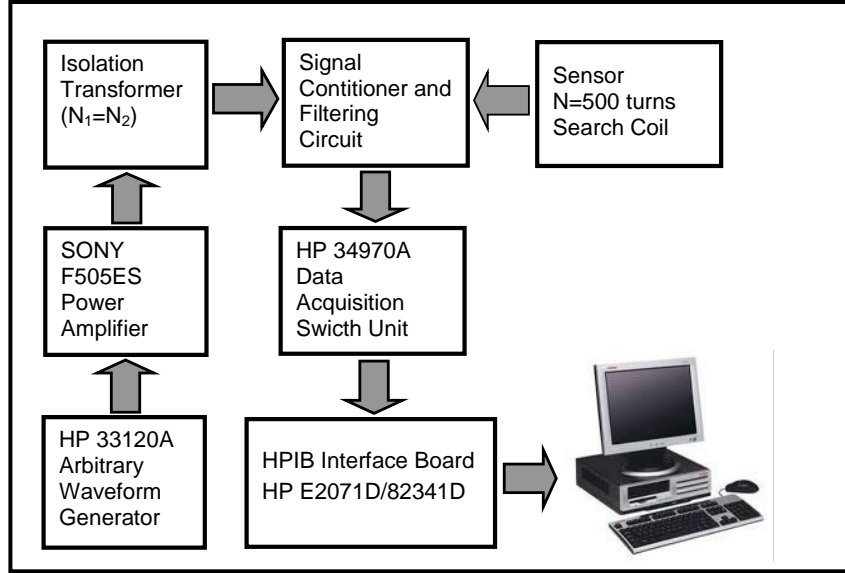
Fig.5. Deneysel platform üzerinde (a) Paralel okuma ve (b) Dik okuma sistemi

Benzer şekilde Şekil 5(b).’de görülen sistemde U-çekirdekli manyetize edici sistem donatı içindeki demir çubuklara dik olarak hareket etmektedir ve buna bağlı olarak Şekil 6.’daki dik okuma sinyali manyetik sensör üzerinde indüklenmektedir.



Şekil 6. Manyetik sensör üzerinde indüklenen paralel okuma ve dik okuma sinyalleri

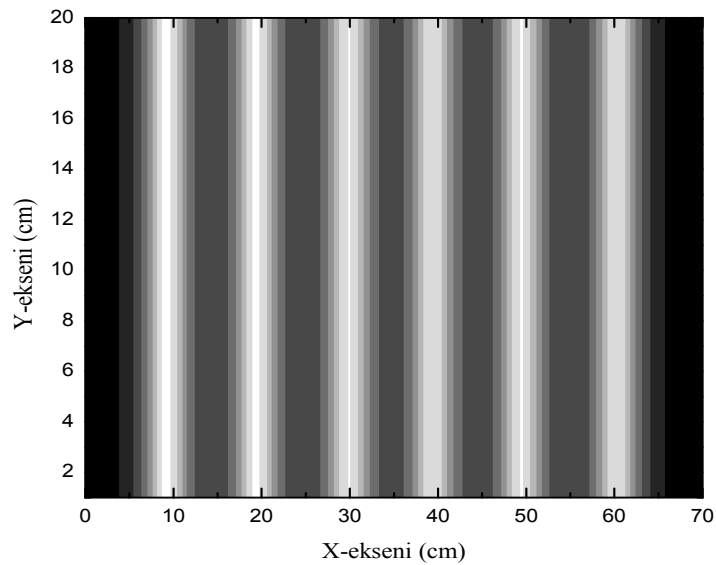
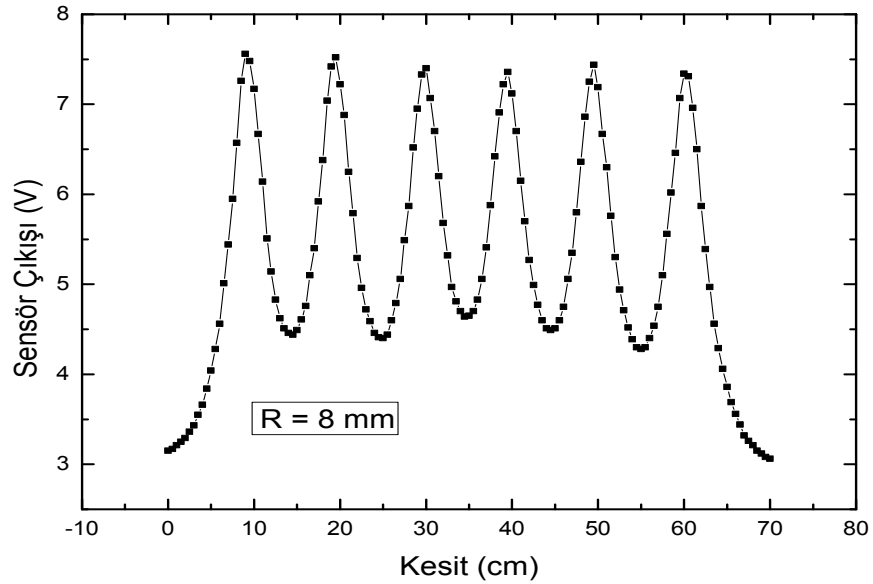




Şekil 7. Deneysel sistemin blok diyagramı

Şekil 7.'de deneysel sistemin blok diyagramı verilmektedir. Sistem HP33120A sinyal jeneratöründen verilen sinusoidal sinyalle beslenir. SONY F505ES güç amplifikatörü ile 2Ampere kadar yükseltilir ve izolasyon transformatöründen dc sinyalden arındırılarak sinyal düzenleyici devreye iletilir. HP34970A Data Acquisition Switch üzerinden gelen sinyaller HP2071D/82341D HPPIB Interface Board tarafından toplanarak bilgisayarda depolanmıştır.

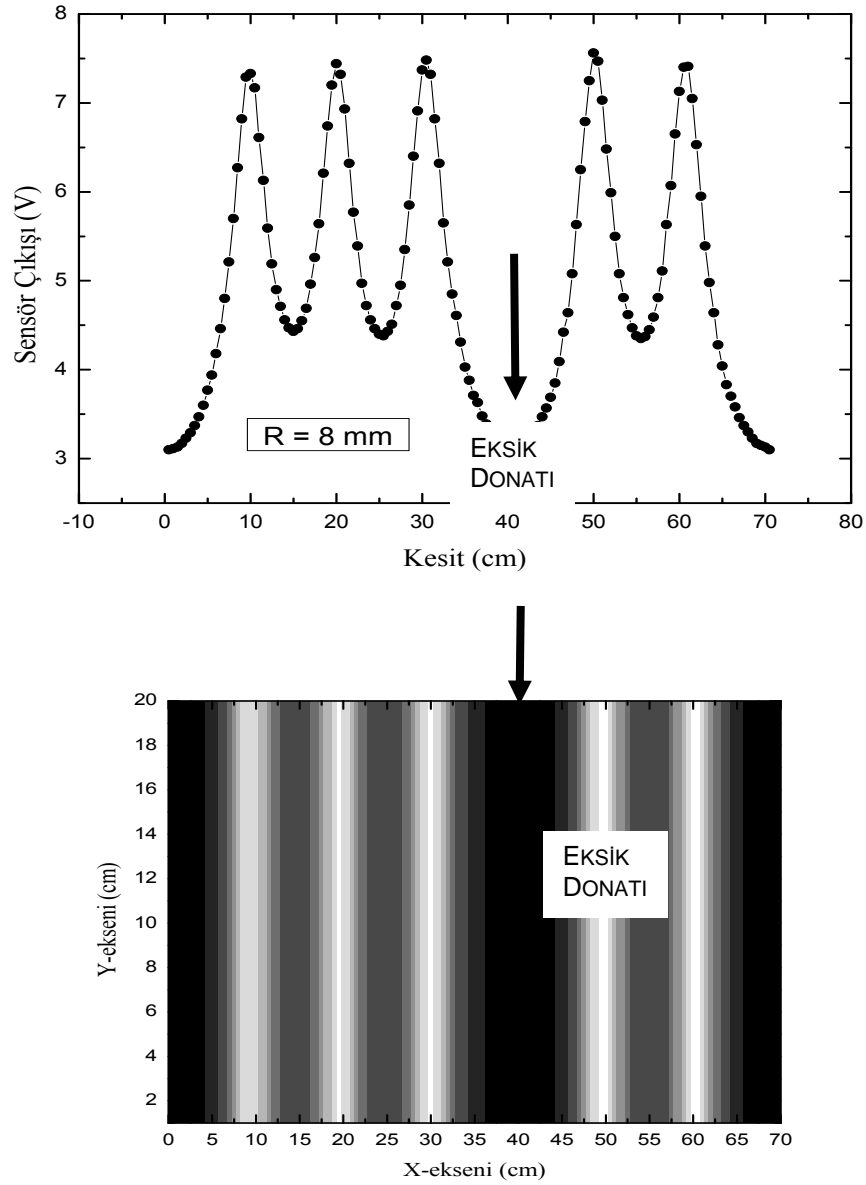
Şekil 8.'de R=8mm kalınlıkdaki bir demir donatıdan toplanan manyetik dik okuma sinyalleri toplanarak ilk etepta sinyal paterni elde edilmiştir.



Şekil 8. R=8mm kalınlıkdaki demir donatının oluşturduğu sinyal paterni ve donatının görünümü.

Devamında ise belli bir bölge taranarak şekilde verilen R=8mm kalınlıkdaki donatının beton blok içindeki görüntüsü elde edilmiştir.

Şekil 8.'de R=8mm kalınlıkdaki donatı içinde eksilen bir demir çubuğun belirlenmesinde kullanılan bu yöntem ile elde edilen sinyal paterninin yanı sıra taranan belli bir bölge içinde oluşan eksik donatının görüntülenmesi elde edilmiştir. Buda geliştirilen bu yöntemin işlevselliğinin bir ölçütü olup kullanılabilirliğini ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 8. R=8mm kalınlıkdaki demir donatının oluşturduğu sinyal paterni ve donatının görünümüne ilaven donatı içindeki eksik demir çubuğun belirlenmesi.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada manyetik kaçak akı tekniği kullanılarak betonarme yapıların içindeki demir donatının görüntülenmesi çalışılmıştır. Kullanılan 3T yöntemi tamamen tahribatsız olup incelenen sisteme hiçbir zarar vermemektedir.

Yapılan çalışma kapsamında paralel ve dik okuma yöntemleri karşılaştırılmış olup pratik olarak dik okuma tekniğinin kullanımı tercih edilmiştir.

Bu çalışmada alınan betonarme kesiti boyunca yapılan tarama ile kesit içinde bulunan demir donatılar algılanmış ve elde edilen sinyal paterni kesit boyunca verilmiştir.

Taranan belirli bir bölge için elde edilen sinyaller resime dönüştürülerek demir donatının fotoğrafı elde edilmiştir. Elde edilen bu fotoğraf analiz edildiğinde donatıdaki korozyon, strese bağlı metal yorulması ve donatı içindeki eksik demir çubukların belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, Balıkesir Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Birimi'ne bu proje için yapılan maddi destekten dolayı teşekkür ederler. Proje no: 2008/7.

## 5.KAYNAKÇA

- [1] LEEMING, M. B., LANE, J. S., WADE, P. J., Post-Tensioned Bridge Investigation – The Way Forward, **Construction / Repair**, pp193-197.
- [2] STAIN, R. T., DIXON, S., Inspection Of Cablesin Post - Tensioning Bridge – What Techniques Are Available , **Construction / Repair**, January / February 1994, pp 297-300.
- [3] WILLIAMS, H. T., HULSE M.E. From Theory To Field Experience With İnspection Of Post-Tensioned Bridges, **Construction / Repair**, pp 199-202.
- [4] NAGI, M., WHITING, D, Corrosion Of Prestressed Reinforcing Steel In Concrete Bridges: State-Of-The-Art , **Concrete Bridges in Aggressive Environments**, SP-15 1, ed.R E pp17-41.
- [5] ANON, Inspection Of Prestressing Cables In Bridges, **Indian Concrete Journal**, February 1987, Vol 61, No. 2 pp 31-33.
- [6] BÜYÜKÖZTÜRK, O., Imaging Of Concrete Structures, **NDT&E International** 1998, Vol. 31, No.4 pp233-243.
- [7] PRICE, W. I. J, Highway Bridge Inspection: Principles And Practices In Europe, **TABSE Symposium**, Washington, 1982, Vol 38, pp15-29.
- [8] MARTZ, H. E., SCHNEBERK, D. J., ROBERSON, G. P., MONTEIRO, P. J., Computerized Tomography Analysis Of Reinforced Concrete, **ACT materials Journal**, May/June 1993, pp 259-264.
- [9] HILLEMEIER, B., New Methods In The Rehabilitation Of Prestressed Concrete Structures, **IABSE Symposium**, Lisbon, 1998, Vol 57 / 1, pp 311-316.
- [10] FLOHRER, C., BERNHARDT, B., Detection Of Prestressed Steel Tendons Behind Reinforcement Bars, Detection Of Voids İn Concrete Structures – A Suitable Application For Radar Systems, **International Conference on NDT in Civil Engineering**, April, 1992, Vol 1, pp 227-234.

- [11] CHENG, C., SANSALONE, M., Effects Of Impact-Echo Signals Caused By Steel Reinforcing Bars And Voids Around Bars, **ACT Materials Journal**, September/October, 1993, pp 421-434.
- [12] LIN, Y., SANSALONE, M., Detecting Flaws In Concrete Beams And Columns Using The Impact-Echo Method, **ACT Materials Journal**, July / August, 1992, pp 394-405.
- [13] PRATT, D., SANSALONE, M., Impact-Echo Interpretation Using Artificial Intelligence, **ACT Materials Journal**, March / April, 1992, pp 178 187.
- [14] CARINO, N. J., SANSALONE, M., Detection Of Voids In Grouted Ducts Using The Impact Echo Method, **ACT Materials Journal**, May / June 1992, pp 296-303.
- [15] PETERSEN, C.G., Doctor Impact Echo Testing Of The Injection Of A Post-Tensioned Cable Steel Duct, **Report-German Instruments A/S**, September, 1993.
- [16] REPORT, J. L., BRACHET-ROLAND, M., Survey Of Structures By Using Acoustic Emission Monitoring, **IABSE Symposium**, Washington, 1992 Vol 39, pp 33-38.
- [17] SCHUPACK, M., Evaluation Of Corrosion In Bonded And Unbonded Post-Tensioned Structures, **How To Make Today's Repairs Durable For Tomorrow**, March 21 1998, Houston, Texas.
- [18] STEBER, G. R., GHORBANPOOR, A., SHEW, T. E., Magnetic Field Disturbance Signal Processing, **Proceeding of IEEE Conferance**, 1989, Vol 2, pp 474-479.
- [19] GHORBANPOOR, A., SHEW, T.E., Detection Of Flaws In Bars And Cables In Concrete Bridge Structures, **Transportation Research Record**, 1989, No. 1211 pp 84-91.
- [20] GIMMEL, B., Magnetoelastic Force Measurement In Prestressed Concrete, **TABSE Symposium**, Lisbon 1989, Vol 57/1, pp 329-334.
- [21] ALI, M.G., MADDOCKS, A. R., **Evaluation of Corrosion of Prestressing Steel in Concrete Using Non-destructive Techniques**, GHD Pty Ltd. Sydney.
- [22] ANDREWS, F., Non-destructive Testing (NDT) of Concrete in Structure, **Technical Note**, GeoPave.
- [23] PERIN, D. and GÖKTEPE M., Inpection of rebars in concrete blocks, **International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics**, 38 (2012) pp 65-78.