

## KÖPRÜ ve VİYADÜK YAPILARINDA YER RADARI (YR) İLE OLUŞTURULAN SAĞLIK DEĞERLENDİRME SİSTEMİ

**Gökhan KILIÇ**

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir Ekonomi Üniversitesi, Sakarya Cad. No:156,  
Balçova, 35330, İzmir/Türkiye

E-mail: gokhan.kilic@ieu.edu.tr - gkilic@hotmail.co.uk

### Özet

Mühendislik yapıları, doğal ve çevresel olgular (deprem, sel baskınları, donma, çözünme vb.) nedeniyle yapısal sağlık problemleri ile karşı karşıya kalırlar. Yapılarının sağlık durumunu hızlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirebilmesi önemli ve acil çözüm bulunması onlarca yıldır mühendislerin ve araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Gözlemsel (kişisel yargı ve tecrübeye dayalı) ve basit aletlerle (beton test çekici, dürbün, mezura, kamera, tebeşir... vb.) yapıların sağlığı tam kapsamlı olarak incelenemez ve yapısal hasarın kritik göstergeleri göz ardı edilebilir. Günümüzde yapıların yapısal sağlık incelemesi tahribatsız teknolojiler uygulanması ve kullanım kolaylığı açısından, yapısal bütünlük ve genel fonksiyonellikleri ortaya çıkarmak için avantajlıdır. Bu çalışmada, yapıların sağlığını değerlendirmek için özel olarak seçilen gelişmiş tahribatsız teknoloji Yer Radarı (YR) yardımıyla bir yapı sağlığı gözetimi yaklaşımı önerilmektedir. Bu çalışmada, yapıların yapısal sağlığını incelemeye yönelik bir değerlendirme aracı olmak üzere kapsamlı bir yapı gözetim stratejisinin bir parçası olarak kullanılabilir. Bu yaklaşım, bakım veya onarımın gerekli olup olmadığına ilişkin tümüyle bilgiye dayalı bir karar alınmasına imkân vererek, kullanıcısının yapı sağlığı ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren detaylı bir yapısal rapor elde etmesini sağlar.

### Giriş

Yapıların mevcut durumlarını tahribatsız, hızlı ve güvenilir şekilde değerlendirilebilmesi önemli ve acil çözümler gerektiren konulardan biridir. Tahribatsız teknolojiler, bu gereksinimlere etkili ve hızlı bir şekilde cevap veren yöntemlerden birisidir. Ayrıca, bu teknikler, betonarme yapılarda zamanla ortaya çıkabilecek sorunların değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Belirli aralıklarla yapıların incelenmesiyle yapı özelliklerinin nasıl değiştiğini izlemek mümkündür. Bu yöntemler, beton özelliklerinin tespiti ve kalite kontrol amaçlarıyla kullanılabilen gibi yapının inşa aşamasında ortaya çıkabilecek sorunlara karşı önlemler alınabilmesi için inşa sürecinde de kullanılabilir.

Betonarme ve ön gerilmeli betonlardaki bozulmanın belirgin sebepleri "beton üzerindeki kimyasal ve fiziksel çevresel etkiler ve beton içindeki çeliğin korozyonu" olarak tanımlamıştır (Cope, 1987). Cope (1987), ayrıca bu bilgilerin şartname ile karşılaştırılmasına imkân verilmesi için beton özelliklerinin test edilmesinin ne kadar gerekli olduğunu da açıklar.

Bu daha sonra muhtemel elastikiyetin değerlendirilmesinde ve gelecekteki bakımın planlanmasında işe yararlılık ve yüklenme kapasitesi hesaplanırken ortaya koyulabilir.

Ülkemizdeki deprem riskinden dolayı mevcut yapıların durumunu hızlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirebilmesi gerekir. Bu nedenle etkili ve hızlı çözüm için çeşitli tahribatsız inceleme teknikleri gereksinimi söz konusudur. Yapı sağlığı değerlendirmesi, mühendislik toplumunun karşısına hep var olan bir problem olarak çıkar. Tahribatlı yöntemler maliyetli ve zaman alıcı olabildiğinden, tahribatsız test yöntemleri aşağıda belirtildiği şekilde araştırılmıştır. Bu çalışmanın ana hedefi, yapıların sadece gözlemsel olarak incelenerek sağlığının değerlendirilmesi değil, yapısal bütünlük ve genel fonksiyonelliklerinin değerlendirilmesidir. Bu yaklaşımın amacı, yapıların durumlarına hakkında daha kapsamlı bilgi toplamaktır. Yapıların mevcut durumuyla ilgili bir hüküm verilirken, bu bize yapı sağlığının her bir tahribatsız gelişmiş teknoloji ve Sonlu Elamanlar (SE) modelinin yardımıyla daha gerçekçi bir resmini verecek ve artan bir güvenilirlik sağlayacaktır. Bu çalışmada, yapıların sağlığını değerlendirmek için özel olarak seçilen gelişmiş tahribatsız teknoloji Yeraltı Radarı (YR) yardımıyla ile derlenen, gerekli karmaşık veri kullanma, toplama, işleme ve yorumlama bilgisinin elde edilmesi. Bu kazanımla, yapılarının yapısal gözetim ve değerlendirmesi alanındaki teknolojinin etkinliğinin ve uygulanabilirliğinin tespit edilmesi sağlanacaktır.

### **Malzeme ve Yöntem**

Kayıt cihazları, tahribatsız teknolojilerdeki yeni bir gelişme olan uzaktan gözetim vasıtasıyla yapı durumunu doğru belirlemek ve gelişmekte olan problemlerin erken tespit edilmesine imkân vermek için gerçek zamanlı olarak titreşimi alırlar. Uzaktan gözetim, otomatik görüntüleme teknikleri ile birlikte çalışıp, yapı denetçilerinin fiziksel olarak bölgede bulunmasını azaltarak, güvenlik riskini minimuma indirebilir ve yapı bozulmasıyla ilgili sürekli bilgi sağlayarak yapı bakım maliyetlerini ciddi biçimde düşürebilir.

Tek bir tahribatsız yöntemi tam bir tablo sunamazken, her bir yöntemin belli uygulamalarda başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Dolayısıyla, önerilen tekniğin uygunluğunun değerlendirilmesi için bir ön fizibilite çalışması yapılarak, belli bir yapı sağlığı gözetim ihtiyacıyla ilgili doğru tahribatsız tekniğinin seçilmesi gerekmektedir. Beton testi için, bazıları potansiyel kullanımda yaygın iken bazıları belli bir amaca yönelik olan bir dizi tahribatsız yöntemi mevcuttur. Bunlara kızılötesi termografisi, YR, akustik etki (sesli), ultrasonik darbe hızı, ultrasonik darbe-yankısı ve etki yankısı dâhildir ve hepsi (ilk ikisi hariç) gerginlik dalga yayılımına dayanır. Belli bir proje için hangi tahribatsız yönteminin en uygun olduğuna karar vermede genel olarak şu gereklilikler dikkate alınacaktır: yapısal penetrasyon, beklenen hedefler için dikey ve yatay çözünürlük, hedef ve çevresi arasındaki fiziksel özelliklerdeki kontrast, incelenen yapıda ölçülen fiziksel özellik için sinyalin sese oranı ve kullanılan inşaat yöntemlerinin bilgisi (McCann ve Forde, 2001).

Yer radarı (YR) ile oluşturulan sağlık değerlendirme sistemli bir yaklaşım ve mevcut ticari yapı modelleme yazılımları ile bağlantılı olarak kullanımı için önerilen mekanizma, farklı türlerde yapılara uygulanabilecektir.

Buna rağmen, önerilen mekanizmanın uygulanabilirliği her olay için ayrı ayrı dikkate alınmalıdır. Yani YR yönteminin uygulamaları, belli yapılarının değerlendirilmesi ve gözetimi için uygun olmayabilir.

Şu an yapı gözetim stratejileri ve değerlendirmesi, birkaç ana denetim türünden oluşmaktadır (Rashidi ve Gibson, 2011; Vaghefi ve beraberindekiler, 2012):

- **Ön Denetim:** Bu denetim biçimi yeni inşa edilen yapılarda gerçekleştirilir ve gelecekteki tüm denetimler için bir temel teşkil eder.
- **Rutin Denetim:** Rutin denetim, örneğin 6/12 ayda bir gibi belirlenen düzenli aralıklarda yapılır. Çoğu zaman yapı denetçisinin subjektif görsel denetimlerine dayanır. Bu denetim biçimi sırasında herhangi bir önemli yapısal bozulma ile karşılaşılması beklenmez ve çalışma bakım aralıklarına denk gelir.
- **Detaylı Denetim:** Bu denetimde ise ileride problemlere yol açabilecek herhangi bir yapısal kusurun tespit edilmesi amacıyla yapının seçilen bir bölgesine birkaç tahribatsız yöntem uygulanır. Bu değerlendirmenin sonucuna göre, yapısal değerlendirme organizasyonu, gerçekleştirilecek iyileştirici eylemlerin bir listesinin hazırlanması veya orta vadeli bir bakım planı oluşturulması gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Detaylı bir denetim için önerilen süre beş yıldır.
- **Yapısal değerlendirme:** Bu normalde bir rutin denetim veya detaylı denetim sırasında önemli bir yapısal veya fonksiyonel kusurun tespit edilmesinin sonucudur. Burada, kapsamlı tahribatsız teknolojilerin uygulamasında mümkünse laboratuvar testi ile birlikte statik ve dinamik yük uygulanabilir. Bu değerlendirmeden elde edilen sonuçlar, yapısal kusurların derecesinin ölçümü, yapı üzerindeki yerlerinin tespiti ve yapının mevcut yüke dayanım kapasitesinin bir değerlendirmesidir. Belli durumlarda, özel denetimler ve sualtı denetimleri gibi farklı denetim biçimleri gerekebilir.

Bu çalışmanın hitap ettiği bu denetim programı ile ilgili arasındaki fark öncelikle, yeni inşa edildiklerinde yapılar çoğu zaman uygun biçimde değerlendirilmezler ve dolayısıyla rutin ve detaylı değerlendirme sonuçları ile karşılaştırma yapmak için herhangi bir karşılaştırmalı değerlendirme olmaz. Bu karşılaştırma ölçütünü sağlayan yapının yeni yapıldığı zamandaki statik ve dinamik davranışlarını modellemek için yapıdan alınan yapısal bilgileri kullanan sonlu eleman modeli (SEM) oluşturularak, bu duruma çözüm getirilir.

Bu çalışmanın önerdiği yaklaşım, yapıya uygulanacak olan ve onun yapısal bütünlüğünü kapsamlı olarak değerlendirebilen, dolayısıyla çoğu zaman yapı sağlığı gözetimi değerlendirmeleriyle ilgili bir sorun olarak görülen objektifliği ortadan kaldıran bir teknikler seti listesi sunulur. Ayrıca bu yaklaşım, donatı konumunun ve yapıdaki anormalliklerin tespit edilmesi gibi mevcut olmayan diğer ek bilgiler de verir (beton ayrışması, çatlaklar, boşluklar, çelik donatı korozyonu). Şüphesiz ki bu bilgiler yapının daha doğru bir sayısal modelini geliştirmede kullanılabilir.

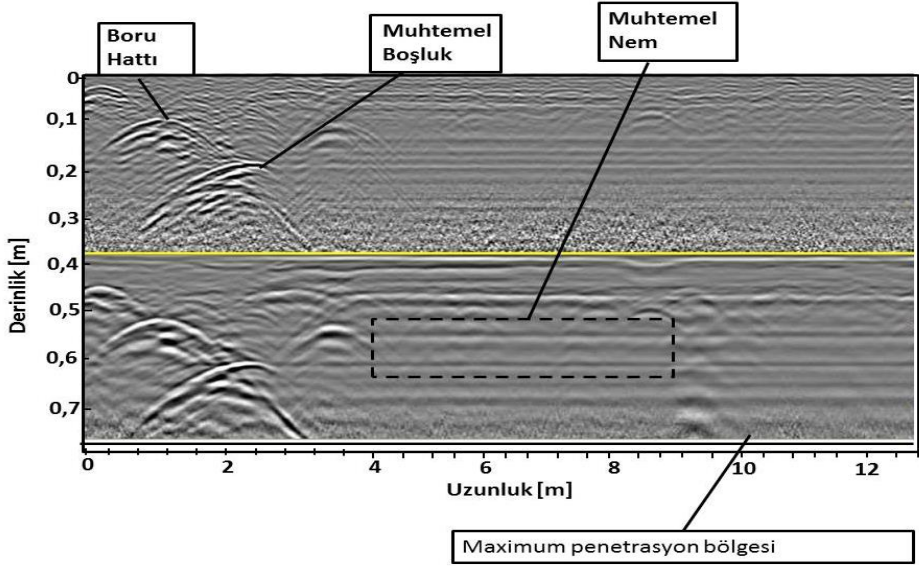
Bu literatür değerlendirmesinin amacı, bu özel yöntemi gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan teknolojiler de dahil olmak üzere çeşitli tahribatsız yöntemlerini tanımak, daha sonra tabloda listeleme yöntemi dahilinde yöntemin bulgularını, uygulamasını ve bu sonuçlardan ne beklenebileceğini özetlemektir. Bu literatür araştırması ayrıca tahribatsız yöntemlerini kullanarak yapıları izlemek ve değerlendirmek için, bu teknolojilerin uygulanabilirliğini ve kullanılabilirliğini tanımlayan YR gibi teknolojinin kullanımı hakkında derinlemesine bir çalışma sonucunu ele almaktadır (Anon, 1997), (Gangone ve beraberindekiler, 2008).

### **Sonuçlar ve Tartışma**

Köprünün döşemesindeki yapı elamanı üzerinde aşağıdaki anten sistemi (Şekil 1) kullanılarak, Şekil 2'de gösterildiği gibi muhtemel nem, boşluk ve boru hattı olan alanlarda olduğu gibi alt yüzey yapısal özellikleri ve bileşenleri belirlenmiştir.



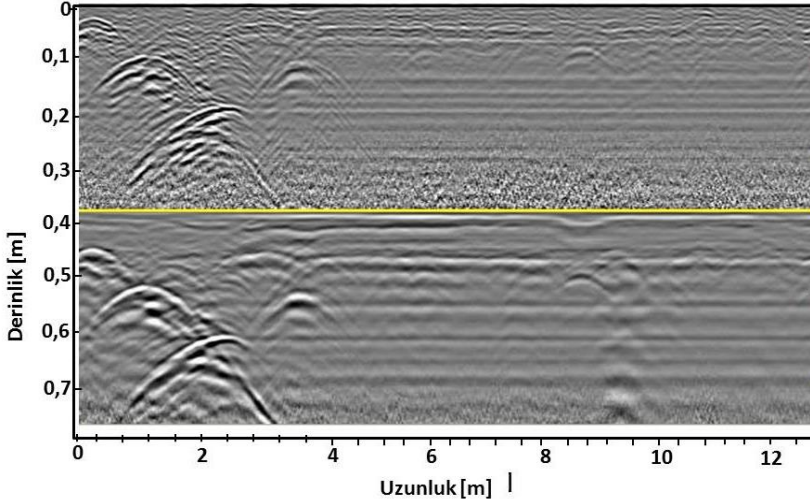
Şekil 1 –TR HF (2 GHz) YR Anteni



Şekil 2 – İşlenen 2 GHz veriler ve daha derin penetrasyonlu başka bir yapının incelemesinden edinilen makul açıklamalar (yorumlar)

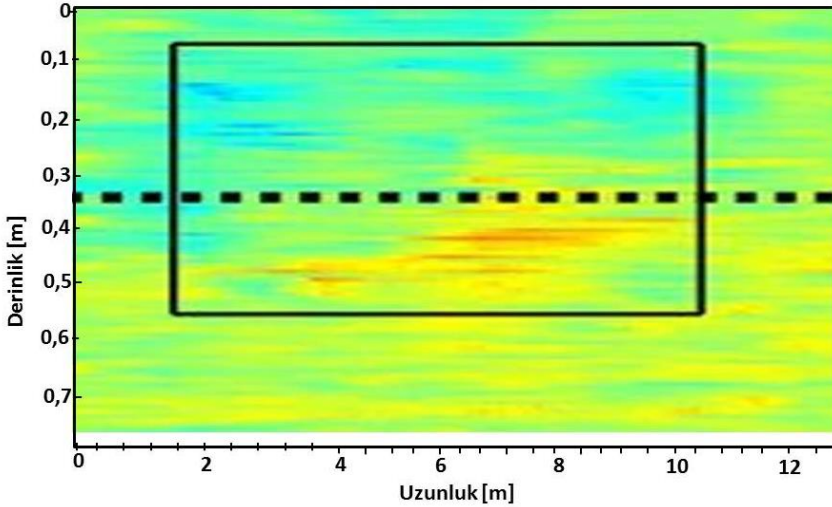
Nem hasarı, tabaka kalınlığı ölçümü, döşeme tabakası ve koruyucu beton hasar yeri, donatının durumu ve derinlik ölçümü ile ilgili veriler YR ile belirlendi. Derinlikle birlikte artan nem girişini ve bunun yanı sıra üst donatı konumunu net olarak gösteren TR HF (2 GHz) Anteni, bu görevlerin her ikisi için de en uygun olduğunu kanıtlamıştır. Farklı antenler, muhtemel donatı bozulmasına işaret eden radargramlar üretirler. Bu radargramlar ayrıca yapı üzerindeki hasarlı bölgelerine de işaret edeceklerdir ve yapı döşeme yüzeyinden olan nem girişi, vurgulanan özelliklerin belirmesinin muhtemel açıklaması olabilir. İddia edilen nem varlığının ve yapı yapısındaki düşük seviyelerdeki muhtemel beton bozulmasının doğrulanması için, yapı sahiplerine yapı sağlığı hakkında öneriler yapılır.

Bu nedenle, nem varlığının belirlenmesi için sonuçları IDS GRED yazılımının sonuçlarıyla karşılaştıracak olan başka bir yöntem ihtiyacı vardır (hız analizi). Dielektrik katsayısı haritası, nemin mevcut olduğu ve radargramın sonuçlarını etkilediği hükmüne güven verecek şekilde işlenen verilerle oldukça ilişkili bulunmuştur.



Şekil 3 – IDS GRED yazılımı YR çıktısı

MatLab yazılımı, dielektrik katsayı haritasını belirlenen alanda gösteren Şekil 3(a)'nın üretilmesini sağlamıştır (The MathWorks, Inc., 2012). Hız analizleri kullanılarak kusurlu bölgelerin yerlerinin tespit edilmesi açısından YR'nin faydalı oluşunun vurgulanması için belli veriler seçilmiştir. Şekil 3(b), IDS GRED yazılımı kullanılarak oluşturulan, bu yüzeyin altında verilerin bir grafiğinin çizilmesine imkân veren 2D gösterimdir (IDS Ingegneria dei Sistemi). Bu veriler, alttaki donatının yaklaşık derinliğini gösterir.



Şekil 4 – MATLAB dielektrik katsayı haritası

Hız analizleri işe yaramazsa, nem girişini bulmak için bir geri-yayımlı sinir ağı sistemi kullanılabilir. YR verisi, yapının önceden tanımlanan bir bölgesiyle ilgili bilgiyi temsil ettiği durumlarda bölümlere ayrılır. Bu veriler, sinir ağına girdi olarak kullanılır. Sinir ağına, örnek yapılardan alınmış girdi sinyali bir sürgülü pencere yöntemi kullanılarak sunulur. Sürgülü pencerenin ölçüsü 64 numunelik, ardışık iki pencere arasındaki adım ise bir numuneliktir. İlk set, YR verilerinin başlangıcından alınır. İkinci set, ilk pencerenin sağına doğru olan bir numunedir ve pencere 1700 YR verisi numunesinin tümünü kapsayana kadar bu tekrar eder.

Özetle, bu çalışmanın önemi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Eğitimin önemi:

- Ekipmanların (YR) güvenle ve kolayca kullanılmasına imkân verme.
- Değerlendirme/gözetim incelemeleri sırasında zorlukları anlama, veri işleme ve sonuçları yorumlama.
- Operasyonun ve karar almanın hızlandırılmasına yardımcı olma.

Bu çalışmada YR sonuçlarının önemi:

- Üzerinde çalışılan yapının yapısal ve yapısal olmayan özellikleri hakkında çok önemli bilgiler tesis etme.
- Yapı döşeme yapısındaki muhtemel kusur konumlarını belirleme.
- Kusurun kapsamı hakkında detaylı bilgi sağlama.
- Genel olarak YR uygulamaları konusunda mevcut olan bilgiye ekleme yapma (YR için değerli bilgi).

Bu çalışmanın önemi:

- Yapıların gözetimi ve değerlendirmesinde tahribatsız test yöntemlerinin etkin biçimde uygulanması daha iyi anlamamızı sağlayarak, mevcut yapının sağlık bilgisinin artırması.

Yapısal gözetim verilerinin yapı sağlığı gözetimi için güvenilir sayısal modeller geliştirmede nasıl kullanılabileceğini gösterme.

## Kaynaklar

1. Anon "Guidance on radar testing of concrete structures" Concrete Society Technical Report No 48 88 pp1997
2. Cope, R.J. (Robert J.), "Concrete Maintenance and repair." I. TG335.C57 1987, 1987
3. Gangone, M. V., Whelan, M. J., Janoyan, K. D., Cross, K. ve Jha, R. "Performance Monitoring of a Bridge Superstructure Using a Dense Wireless Sensor Network". 2008
4. Kilic, Gokhan. 2013. Application of advanced non-destructive testing methods on bridge health assessment and analysis, Ph.D. thesis, 2013, University of Greenwich.
5. Lim M. K. and Cao H., 2013, Combining multiple NDT methods to improve testing effectiveness, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 1310-1315, ISSN 0950-0618
6. Mccann, D. M. ve Forde, M. C. "Review of ndt methods in the assessment of concrete and masonry structures. "NDT & E International, 34, 71-84, 2001.
7. Nguyen N. T., Sbartai Z.-M., Lataste J.-F., Breyse D., Bos F., 2013, Assessing the spatial variability of concrete structures using NDT techniques – Laboratory tests and case study, Construction and Building Materials, Volume 49, December 2013, Pages 240-250, ISSN 0950-0618
8. Rashidi, M ve Gibson, P, 2011 Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment, Australasian Transport Research Forum, 2011, p 1-13.
9. Rashidi, M. ve Peter G., "Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment" Australasian Transport Research Forum, 2011
10. Rhazi, J., Dous, O., Ballivy, G., Laurens, S. & Balayssac, J. P. 2003. Non-destructive health evaluation of concrete bridge decks by GPR and half cell potential techniques. 6th International Conference on Nondestructive Testing in Civil Engineering. Berlin.
11. Solla M., Lorenzo H., Riveiro B., Rial F.I., 2011, Non-destructive methodologies in the assessment of the masonry arch bridge of Traba, Spain, Engineering Failure Analysis, Volume 18, Issue 3, April 2011, Pages 828-835, ISSN 1350-6307
12. Vaghefi K.; Renee C. O; Devın K. H, A.M.A; Theresa (Tess) M. Ahlborn, M; Colin N. B; K. Arthur E; Christopher R; Robert S; Joseph W. B; R D, , "Evaluation of Commercially Available Remote Sensors for Highway Bridge Condition Assessment", 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000303. , 2012 American Society of Civil Engineers. 2012

**Anahtar Sözcükler:** Yapısal Sağlık İzlemesi ve Değerlendirmesi, YR, Korozyon, Tahribatsız Teknolojiler