

# GPR ile Karayolu Üstyapı Tabaka Kalınlıklarının Tespiti; Isparta-Burdur Uygulaması

\*<sup>1</sup>Sercan Serin, <sup>2</sup>Mehmet Saltan, <sup>2</sup>Serdal Terzi, <sup>2</sup>Mehmet Çağrı Bayrak

\*<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Böl. Konuralp Kamp., 81260 Düzce, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fak., İnşaat Müh. Böl. Çünür Kamp., Isparta, TÜRKİYE

## Özet:

Bu çalışmada yeniden inşaa edilen tabakalı sisteme sahip 17 km'lik bir karayolu kesimi üzerinde tahribatsız test yöntemlerinden (NDT) olan Zemin Penetrasyon Radarı (GPR) kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Bu kapsamda 600 ve 1600 MHz frekanslarda sahip farklı GPR antenleri kullanılarak 3,5 m derinliğe kadar 40 ns görüntüleme hızı ile yolun yeniden inşaatından hemen sonra tabakalar taranmıştır. Böylece yolda tasarımda planlanan tabaka kalınlıklarına ulaşıp ulaşılmadığı, tabakalarda gerektiği kadar sıkıştırma işlemi yapılıp yapılmadığı, üstyapı tabakaları ve tabakalar arasında meydana gelmiş her hangi bir anomali olup olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yolun inşaatının hemen sonrasında tahribatsız olarak kalite kontrolü de gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin Penetrasyon Radarı (GPR), Tahribatsız test yöntemleri (NDT), üstyapı, kalite kontrol.

## Abstract:

In this study, reconstructed layered system with 17 km road section were investigated by using the Ground Penetration Radar (GPR) which is one of the nondestructive test methods (NDT). In this context, the roads layers were scanned immediately after the reconstruction with 40 ns display speed up to 3,5 m depth by the help of different GPR antenna having 600 and 1600 MHz frequency. Therefore, it was determined whether the layer thickness has been reached on planning the design, the compaction has been as needed in the layers and there is any anomalies have occurred on the pavement layers or between these layers or not. Finally the non-destructive quality control immediately after the road construction was also carried out.

**Keywords:** Ground Penetration Radar (GPR), non-destructive testing methods (NDT), pavement, quality control.

## 1. Giriş

Üstyapı değerlendirmesinde bir karayolu kesiminin yapısal ve fonksiyonel koşullarını belirlemek amacıyla ya rutin izlemeler ya da planlı doğru aksiyonların gerçekleştirilmesi gerekir. Fonksiyonel durum, ilk olarak üstyapı kesiminin sürüş veya yüzey dokusunun kalitesini belirlemeyi hedefler. Yapısal durumu ise defleksiyon ölçümleri gibi üstyapının yapısal kapasitesi, tabaka kalınlığı ve malzeme özellikleri ile ilgilidir [1].

Servise açık bir üstyapının yapısal durumunu belirlemek için mevcut en güvenilir yöntemlerden biri tahribatsız testleri (Nondestructive Testing-NDT) kullanmaktır. NDT tahribatlı deneylere göre iki önemli faydaya sahiptir. Birincisi; tahribatlı deneyler üstyapıya zarar verir veya deney için üstyapı malzemesinin çıkarılmasını gerektirir. Oysa NDT üstyapıya zarar vermeden üstyapının değerlendirilmesine olanak sağlar. İkinci faydası ise tahribatlı deneylere göre trafiği daha az kesintiye uğratması ve ucuz olmasıdır [2].

Arazide yapılan tahribatsız deneyler verilerin toplanması açısından bakıldığında oldukça objektiftir. Fakat zaman zaman verilerin analizi ve yorumlanması kısmında sübjektif olduğu da görülebilir. Tahribatsız testler daha sonra ihtiyaç duyulacak tahribatlı testlerin değerlendirilmesi, tahribatlı test yapılacak noktaların tespiti, rijitlik ve gerilme değerleri gibi hali hazırdaki yapısal kapasitenin mevcut durumu ile ilgili temel konularda da çalışmalara destek vererek kullanılabilir [1].

Bir üstyapının durumunu belirlemek için yukarıda bahsedilen yapısal özellikleri belirlemenin yanında tabaka kalınlıklarının da tespit edilmesi gereklidir. Aynı zamanda yeni inşa edilmiş üstyapı tabaka kalınlıklarının projeye olan uygunluklarını belirlemek için de kalınlık tayini şarttır. Bunun için karot numunesi alınarak kalınlık tayini yapılabilmektedir. Ancak karot numunesi almak hem zahmet verici hem de üstyapının sadece belirli kısımları hakkında bilgi vermektedir. Bu aşamada tahribatsız deney aletleri daha fazla önem arz etmektedir. Tahribatsız deney aletleri ile kısa sürede üstyapının geniş bir bölümü için ölçüm yapıp üstyapı hakkında doğru bilgi elde edilebilmektedir [3].

Yapılan bu çalışmada yeniden inşaa edilen tabakalı sisteme sahip karayolunun 17 km'lik bir kesiminde tahribatsız test yöntemlerinden (NDT) Zemin Penetrasyon Radarı (GPR) kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Böylece yolda tasarımda planlanan tabaka kalınlıklarına ulaşıp ulaşılamadığı ve yol kesimi üzerinde her hangi bir anomali olup olmadığı tespit edilmiştir.

## **2. Zemin Penetrasyon Radarı (GPR)**

İlk olarak 1960'larda geliştirilmiş olan GPR 1970'lerin sonlarından beri karayolu üstyapı değerlendirme deney aleti olarak kullanılmaktadır. Genellikle üstyapı tabaka kalınlıklarının ölçülmesinde [4], üstyapıdaki yapısal değişimlerin ve anormalliklerin yerlerinin belirlenmesinde, beton plaklar altındaki boşlukların bulunmasında, beton üstyapılarda birleşim yerlerindeki öngerme ve tutturmaların yerlerinin belirlenmesinde ve asfalt üstyapılardaki nemin verdiği zararın belirlenmesinde kullanılmaktadır [5-6].

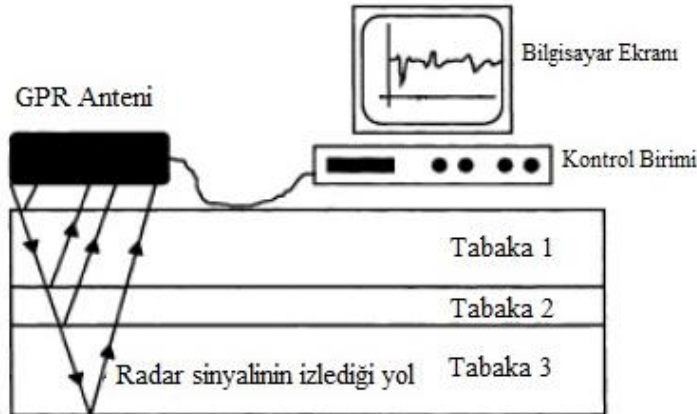
GPR teknolojisinin en büyük avantajı devam edilen profil boyunca dielektrik katsayılar yardımıyla çok hızlı bir şekilde veri toplayabiliyor olmasıdır [7].

GPR sistemi bir veya daha fazla sayıda anten, veri dönüşüm sistemi, bir mesafe ölçüm aparatı, opsiyonel olarak GPS, tüm bunların montajı ve inceleme yapılabilmesi için gerekli bir araçtan oluşmaktadır. Şekil 1'de araca monte edilmiş bir GPR sistemi görülmektedir [8].



Şekil 1. Arazi aracına monte edilmiş GPR sistemi ve PC'ye anlık veri aktarımı (Serin, 2014)

GPR sisteminin temel bileşeni antenlerdir. Bunlar sinyalleri iletmek, ulaştırmak veya her ikisini de gerçekleştirmek için kullanılabilirler [7]. Şekil 2'de GPR anteninden çıkan radar sinyalinin farklı tabakalardan sıçrayarak tekrar anten alıcısına ulaşması şematize edilmiştir.

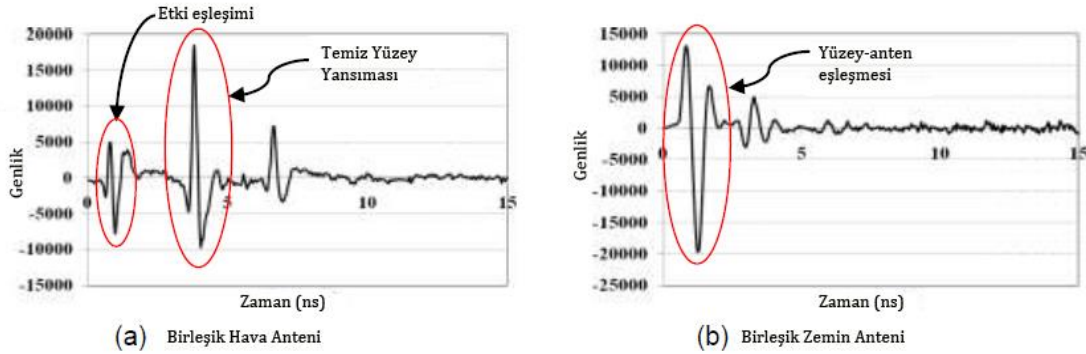


Şekil 2. Radar sinyallerinin farklı tabakalarda yansımaları [9].

Genel olarak GPR sistemlerinde antenler üstyapı yüzeyine çok yakın monte edilirler. Bunun sebebi daha az enerjiyle yüzeyden yansımaları sağlamaktır. Elektromanyetik dalgalar böylece aynı anten üzerinden derinlere kadar çok hızlı bir şekilde gider ve geri döner. Bu nedenle GPR incelemelerinin çok düşük araç hızlarında yapılması daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilmesi için gereklidir [7, 10].

Maser (1994), Lenngren vd. (2000), Willett ve Rister (2002), Bastard vd. (2007) ve Pinel vd. (2009), GPR deney aletini kullanarak üstyapı tabakalarının kalınlıklarını belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara ilave olarak üstyapının sürekli profilinin belirlenmesi (Wu vd., 2003), var olan üstyapının güçlendirilmesi için ilave tabakanın tasarlanması (Harris vd., 2004), üstyapıların ve köprülerin fizibilitelere ait çalışmalar literatürde

yer almaktadır [8, 11-17]. Şekil 3'te GPR ölçümleri ile elde edilmiş antenlere ait genlik zaman grafikleri görülmektedir.

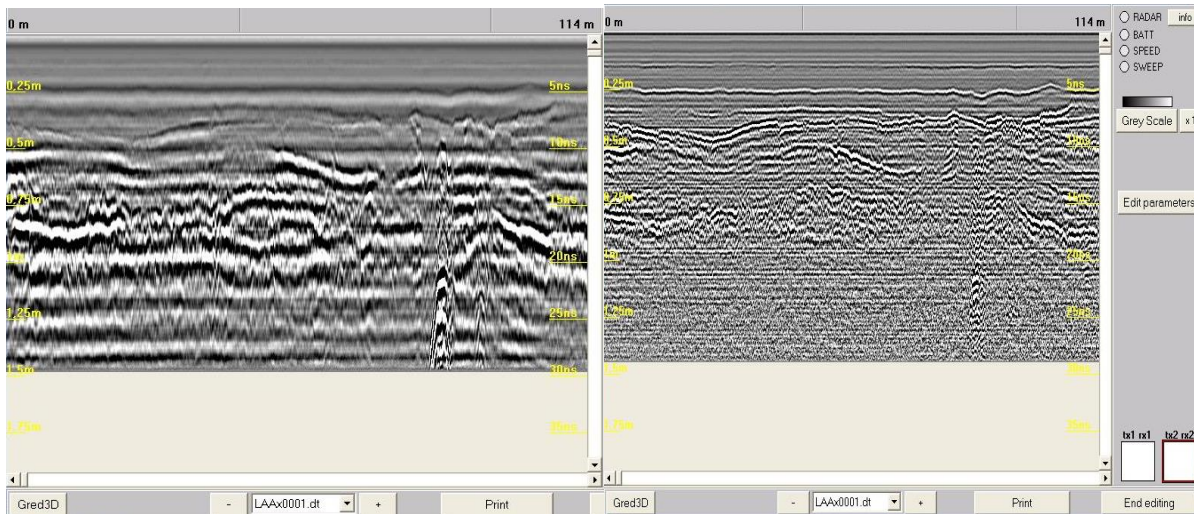


Şekil 3. Antenlere ait genlik zaman grafikleri

GPR çeşitli kaplama uygulamaları da dahil olmak üzere asfalt kaplama, temel ve alttemel tabakalarının tespiti, yardımcı analiz çalışmaları, hesaplama ve doğrulama, malzeme özelliklerini belirleme, yeraltındaki nesnelere bulma, katmanlar arasındaki ayrışmaları, yeraltı nem içeriğini tespit etme, yakın-yüze kaya ve turba yataklarının derinliğini belirleme gibi birçok çalışmada kullanılmıştır [8].

### 3. Arazi Çalışmaları ve Analizler

600 ve 1600 MHz frekanslar kullanılarak yol çalışmaları tamamlandıktan hemen sonra GPR ölçümleri yapılmıştır. Tabakaların daha net görülebilmesi ve tabaka kalınlıklarının tespiti için elde edilen GPR verileri Reflex programı kullanılarak filtreleme ve genlik değişimi işlemlerinden oluşan sekiz farklı proseden geçirilmiştir. Bütün bu analiz ve proseslerden sonra elde edilen en iyi görüntüleme frekansının 1600 MHz'de elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 4).



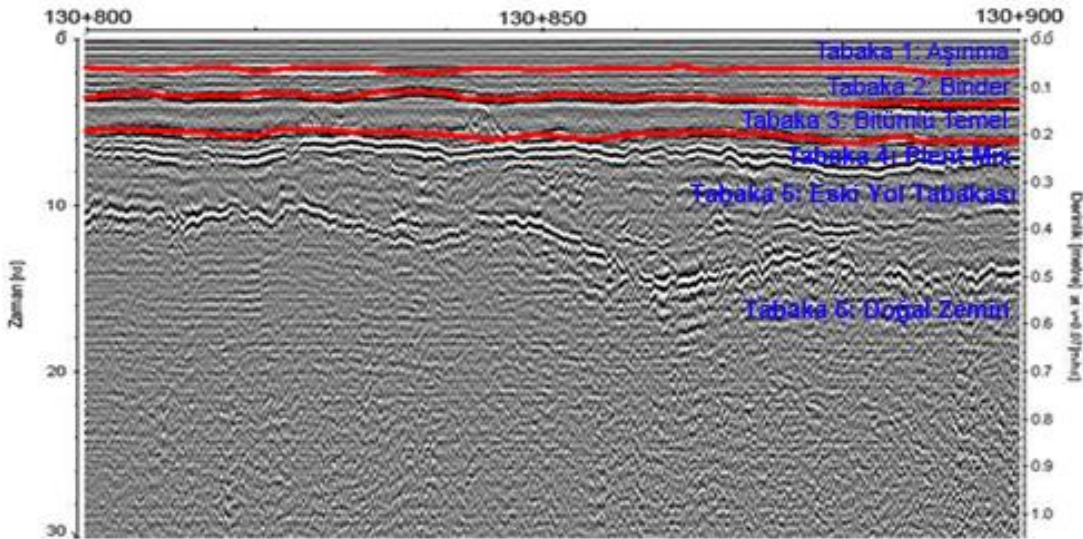
Şekil 4: 600 ve 1600 MHz frekansında alınmış görüntüler



Program sayesinde hava zonunun genliği, sıçrama süresi ve frekans hızları yardımıyla GPR görüntüleri üzerinde zaman ve derinlik göstergeleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu göstergeler tüm şekillerde GPR görüntülerinin sağında (Derinlik olarak metre cinsinden) ve solunda (Sıçrama süreleri nanosaniye cinsinden) görülmektedir.

Filtreleme işlemleri öncesinde GPR görüntülerindeki hava zonunun oluşturduğu katman çıkarılmak istenmiştir. Bu nedenle GPR antenin araca monte edildiği nokta ile ilk sıçramanın gerçekleştirdiği tabaka esas alınarak aradaki mesafe belirlenmiştir. Böylece hava zonuna ait ilk sıçrama mesafesi tespit edilmiş ve analiz programı yardımı ile hava zonu görüntülerden temizlenmiştir.

Hava zonunun görüntülerden çıkarılmasının ardından yolu oluşturan tabakalar tespit edilmiştir. Şekil 5’de eski yol ve üzerine inşa edilen yeni yola ait tabakaların tespit edildiği GPR görüntüsü verilmiştir. Tabakaların daha net ortaya konulabilmesi için faz takibi yapılmış ve tabaka değişim noktaları gösterilmiştir.



Şekil 5. Üstyapıya ait tabakalı yapı ve tabakalar arası fazların çizilmesi (130+800-130+900 km)

Şekil 5 incelendiğinde GPR görüntülerinde toplam altı tabakanın bulunduğu görülmektedir. Karayollarından elde edilen bilgiler ile görüntüler karşılaştırılmış ve bu tabakaların isimleri belirlenmiştir. İlk etapta yeni inşa edilen yola ait aşınma, binder, bitümlü temel ve plentmix tabakaları tespit edilmiştir. Bitümlü tabakalar ve plentmix tabakasının hemen altında görülen tabakaların doğal zemine kadar eski yol hattı olduğu belirlenmiş ve bu alt tabakaların çoğu zaman hasar görmüş durumda olduğuna rastlanmıştır.

Yukarıda tespit edilen yeni yola ait aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarının kalınlıklarının tahribatsız olarak tespiti için GPR görüntüleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İlk sıçrama mesafesinin hesaplanmasında kullanılan (V) frekans hızı esas alınarak çalışmalara devam

edilmiş ve tabakalardan (t) sıçrama süreleri ns cinsinden belirlenmiştir. Böylece her tabakaya ait  $\Delta t$  (ns) sıçrama süreleri kullanılarak (d) tabaka kalınlıkları hesaplanmıştır.

Aşağıda tabaka kalınlıkları ve frekans hızı hesaplamak için kullanılan formüller bulunmaktadır.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Burada;

V frekans hızı (m/ns), c yayılma hızı (hava için 0,3 m/ns alınabilir),  $\epsilon_r$  malzemenin dielektrik katsayısıdır.

$$d = V \frac{\Delta t}{2} \quad (2)$$

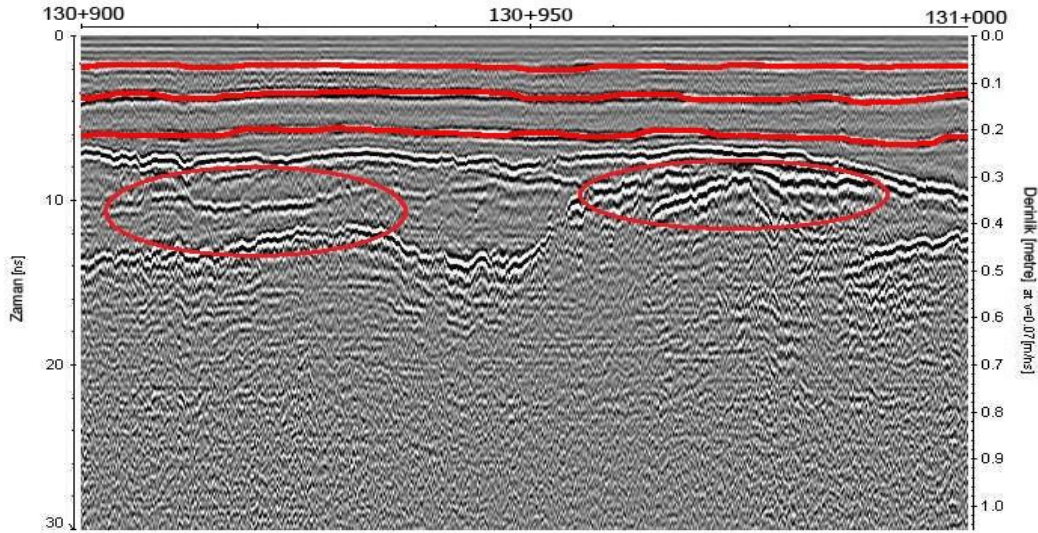
Yukarıdaki formüller kullanılarak geriye doğru bir hesaplama yapılmıştır. Araca monte edilen GPR anteni ile ilk tabaka arasındaki mesafeden yola çıkarak hava zonundan frekans hızına ulaşılmış bu sayede hesaplamalar ile aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarının kalınlıkları tayin edilmiştir.

Hesaplanan V frekans hızı 0,07 m/ns olarak belirlenmiştir. GPR görüntülerindeki (t) sıçrama süreleri her tabaka için belirlenmiş ve formül (2) kullanılarak geri hesaplama yapılmıştır. Yapılan geri hesaplamalarla ilk üç tabakaya ait kalınlıklar tespit edilmiştir. Tablo 1'de tabakalara ait sıçrama süreleri, geri hesaplama ile elde edilen tabaka kalınlıkları ve doğrudan GPR programının sağladığı ve görüntülerin üzerinde bulunan derinlik değerlerinden ulaşılan tabaka kalınlık değerleri verilmiştir. Ayrıca kaşılaştırmaların daha net yapılabilmesi için Karayolları Bölge Müdürlüğünden edilmilen proje değerleri sunulmuştur.

**Tablo 1.** Tabaka kalınlıklarına ait bilgiler

	Tabaka 1 (Aşınma)	Tabaka 2 (Binder)	Tabaka 3 (Bitümlü Temel)
Sıçrama Süresi ( $\Delta t$ ) ns	1,6	2,0	2,2
Tabaka Kalınlığı (Hesaplanan) (d) cm	5,6	7,0	7,7
Tabaka Kalınlığı (Görüntüden) cm	6,0	7,0	8,75
Tabaka Kalınlığı (Projede) cm	5,0	8,0	11,0

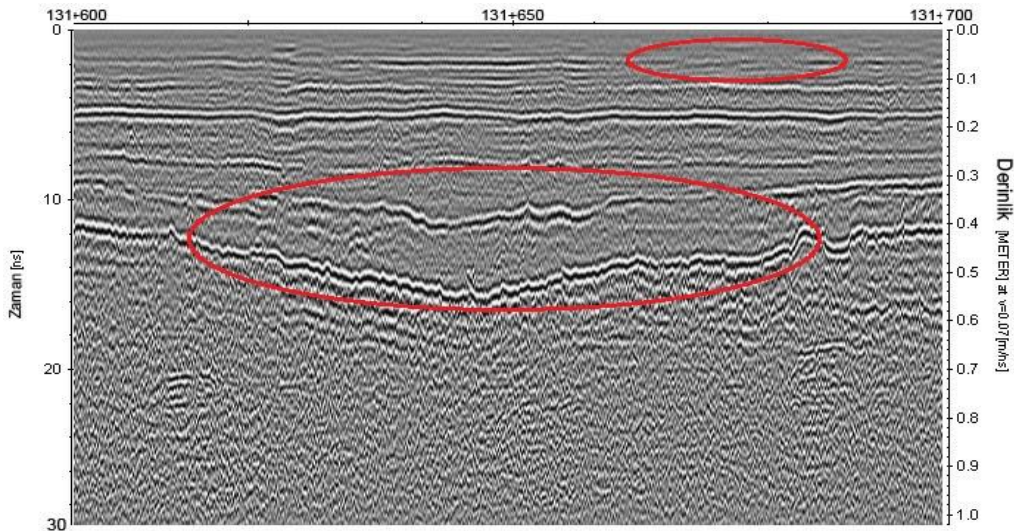
Şekil 6'da farklı bir kesimden alınan yola ait GPR görüntüleri incelendiğinde yine tabakalar ve tabakalar arası sınırlar çok net bir şekilde görülmektedir. Alınan tüm görüntüler filtreleme işlemleri sonrası incelendiğinde sıkışma kaynaklı olarak bazı bölgelerde aşınma ile binder tabakası arasında ve binder ile bitümlü temel tabakası arasındaki tabaka sınırlarının ortadan kalktığı görülmektedir. Ayrıca çökme ve kabarmaların olduğu eski yola ait görüntüler ile doğal zemin ve bir birine girmiş böylece kaybolmuş tabaka sınırları göze çarpmaktadır.



**Şekil 6.** Tabakalı yapıda meydana gelmiş anomaliler ve tabakalar arası faz takibi (130+900-131+000 km)

Ayrıca GPR görüntülerinde güzergâh üzerinde bulunan ve drenaj için yapılan hendekler, menfezler, köprüler vb. sanat yapıları da net olarak görülmektedir. Eski yol tabakasının altına bakıldığında doğal zeminde yer alan tabakalanmalar ve tabaka değişimleri de yer yer göze çarpmaktadır.

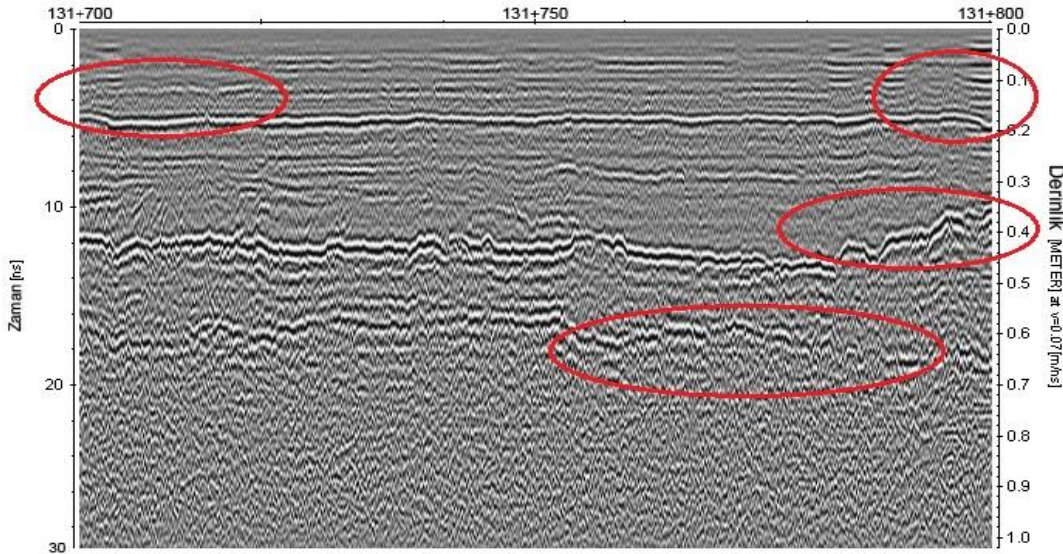
Sunulan bu çalışmada görüntüleme boyutları fazla olması nedeni ile 17 km güzergâh boyunca alınan GPR görüntülerinden 100 m'lik kesimler halinde örnekler alınmış ve farklılıklar incelenmiştir. Şekil 7 incelendiğinde doğal zeminde bariz bir çökme olduğu görülebilmektedir. Ayrıca tabaka sınır çizgileri zaman zaman kaybolmakta ve tabakalar sıkışma kaynaklı olarak bir birine girmektedir. Daha da önemlisi şekilde de görüldüğü gibi yolun bazı kesimlerinde doğal zemin sınırının altında kalan bölge içerisinde de zemin yapısından kaynaklı tabakalanmalar tespit edilmiştir.



**Şekil 7.** Tabakalı yapıda meydana gelmiş anomaliler (131+600-131+700 km)



Tüm GPR görüntülerinde dikkat çeken en önemli bulgulardan bir diğeri ise çok kısa mesafelerde dahi tabaka kalınlıklarında bariz değişmelerin gözlemlenmesi olmuştur. Şekil 8’de GPR görüntüsünün ilk bölümü ile son bölüm incelendiğinde tabaka kalınlığının farklı olduğu açıkça görülmektedir. Yani yapımdan kaynaklı olarak da tabakaların kalınlıklarında farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu detaylar kalite kontrolü için yolda denetim yapan mühendise oldukça önemli bilgiler sunmaktadır.



Şekil 8. Tabakalı yapıda gözlenen anomaliler (131+700-131+800 km)

## Sonuç ve Öneriler

GPR ile alınmış veriler üstyapının tabaka kalınlıklarının belirlenmesinde, tabakalar arasında ve güzergâh boyunca meydana gelmiş anormalliklerin görülebilmesi açısından oldukça başarılı sonuç vermiştir.

İki farklı görüntüleme frekansı (600 ve 1600 MHz) kullanılarak aynı yol üzerinde yol hizmete açılmadan önce yapılan GPR ölçümleri sonucunda; analizlerden sonra elde edilen en iyi görüntüleme frekansının 1600 MHz olduğu tespit edilmiştir.

Tüm analiz ve değerlendirmeler neticesinde bitümlü temel tabakasının kalınlığı yolun aynı kesiminde zaman zaman değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Karayolları Bölge Müdürlüğü’nden alınan yol tabakalarına ait bilgilere göre bitümlü temel tabakası 11 cm olması gerektiği halde GPR görüntüleri ile elde edilen tabaka kalınlık değerlerinin farklı noktalarda 7,5-10,5 cm arasında değerler aldığı görülmektedir. Buna göre yolun farklı noktalarında sıkıştırmadan kaynaklı olarak tabaka kalınlığında değişmeler görülmektedir.

Karayollarından edinilen bilgilere göre aşınma tabakası 5,0 cm, binder tabası 8,0 cm olarak tasarlanmış olmasına rağmen tüm güzergâh boyunca GPR görüntüleri ile mukayese edildiğinde



bazı kesimlerde tabaka kalınlıkları birebir uymakta, bazı kesimlerde tabaka kalınlıkları artarken bazı kesimlerde ise tabaka kalınlıklarının tasarımda belirtilen değerlerin altına düştüğü göze çarpmaktadır.

GPR ile yapılan ölçüm ve görüntülemelerin yola zarar vermeden tahribatsız olarak gerçekleştirilmesi ve minimum zaman kaybına sebep olması nedeniyle kalite kontrol çalışmaları için oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca yapılan bu çalışma yeni inşaa edilmiş yol üzerinde gerçekleştirildiği için imalattan kaynaklı kusurların tespitinde başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Aynı yol üzerinde sonraki yıllarda yapılacak GPR ölçümleri ile yolun üst ve alt tabakalarında meydana gelen bozulmaların tespit edilmesi ve gerekli müdahalelerin zamanında yapılabilmesi mümkün olabilecektir. Bu nedenle GPR'ın bakım-onarım çalışmaları için Üstyapı Yönetim Sisteminin destekleyici bir parçası olabileceği düşünülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 3408-D2-13 ve 2666-M-10 numaralı projelerle desteklenmiştir. Ayrıca projelere vermiş oldukları destekten dolayı KGM, TCK 13. Bölge Müdürlüğü ve 134. Şube Şefliğine teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

### **Kaynaklar**

- [1] Russel W, Lenz PE. Pavement Design Guide. Texas Department of Transportation, 2011.
- [2] Shahin MY. Pavement Management for Airports. Roads and Parking Lots. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, U.S.A. 2002.
- [3] Saltan M. Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1999.
- [4] ASTM D4748, Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar. Non-destructive Testing of Pavement Structures, American Society of Testing and Materials. Pennsylvania, USA, 2005.
- [5] Morey RM. Ground Penetrating Radar for Evaluating Subsurface Conditions for Transportation Facilities. NCHRP Synthesis of Highway Practice 255, 1998.
- [6] Özen FS. Karayolları Esnek Üstyapılarında Tabaka Ara Yüzeylerindeki Süreksizliklerin Sismik Yöntemle Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 2011.
- [7] Al-Qadi IL, Leng Z. Al Larkin, In-Place Hot Mix Asphalt Density Estimation Using Ground Penetrating Radar. Technical Report of Research, Federal Aviation Administration Under Cooperative Agreement, DOT 05-C-AT-UIUC, ICT Report No. 11-096, 2011.

- [8] Serin S. Tahribatsız Test Yöntemleri İle Esnek Üstyapıların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi, Isparta, 2014.
- [9] Morcou G, Erdoğan E. Use of Ground Penetrating Radar for Construction Quality Assurance of Concrete Pavement. NDOR Project Number P307, Final Report, Principal Investigators, University of Nebraska – Lincoln, 2009.
- [10] Leng Z, Al-Qadi IL, Baek J, Lahouar S. Selection of Antenna Type and Frequency for Pavement Surveys Using GPR, 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, CD-ROM, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2009.
- [11] Maser K. Ground Penetrating Radar Survey of Pavement Thickness on MN/Road Sections. Minnesota Department of Transportation Office of Minnesota Road Research Report # MN/RC-95/06., 1994.
- [12] Lenngren C. Bergström J. Ersson B. Using Ground Penetrating Radar for Assessing Highway Pavement Thickness. *Subsurface Sensing Technology Appl.*, 4129, pp. 474-483, San Diego, 2000.
- [13] Willet D, Rister B. Ground Penetrating Radar Pavement Layer Thickness Evaluation. Kentucky Transportation Center Research Report # KTC-02-29/FR101-00-1F, 2002.
- [14] Bastard CL, Baltazart V. Wang Y. Saillard J. Thin-Pavement Thickness Estimation Using GPR with High-Resolution and Superresolution Methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45 (8), pp. 2511–19, 2007.
- [15] Pinel N, Le Bastard C, Liu L, Bourlier C. Wang Y. Rough Thin Pavement Thickness Estimation by GPR. *IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium*, Cape Town, Africa, 2009.
- [16] Wu R, Li X, Li J. Continuous Pavement Profiling with Ground-Penetrating Radar. *Proc. Inst. Electr. Eng.—Radar Sonar Navig.*, 149, pp. 183, 2003.
- [17] Harris D, Noureldin AS, Shan J. Pavement Overlay Thickness Evaluation Using Ground Penetrating Radar (GPR). *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference*, Denver, CO, 2004.