

## Bir Sathi Kaplamalı Yol Üst Yapısının Taşıma Gücü Değişimlerinin Prima 100 ve Dynatest 3031 Hafif Düşen Ağırlık Deformasyon Ölçer Cihazları ile İncelenmesi

Cahit Gürer<sup>a</sup>, Sedat Çetin<sup>b</sup>, Mustafa Karasahin<sup>c</sup> ve Hüseyin Akbulut<sup>b</sup>

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

<sup>b</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

<sup>c</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

e-posta: cgurer@aku.edu.tr, scetin@aku.edu.tr, mkarasahin@istanbul.edu.tr ve hakbulut@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 06 Mayıs 2011; Kabul Tarihi: 21 Eylül 2011

### Özet

#### Anahtar kelimeler

Hafif düşen ağırlık deformasyon cihazı (LWD);  
Sathi kaplamalar;  
Mevsimsel değişim etkisi;  
Dynatest 3031 LWD;  
Prima 100 LWD

Hafif düşen ağırlık deformasyon ölçme (LWD) deneyi çok tabakalı yol üst yapılarının taşıma güçlerinin belirlenmesinde kullanılan, ekonomik ve basit bir hasarsız deney yöntemidir. Bu cihazların en önemli avantajlarından biri istenilen yere kolaylıkla taşınabilir olmasıdır. Cihaz ile belirli bir yükseklikten bir dairesel plaka üzerine sabit bir ağırlık düşürülerek tabakalı üst yapı üzerinde trafiğin etkisine benzer bir etki oluşturulur. Bu yükleme neticesinde üst yapıda deformasyonlar oluşur. Meydana gelen deformasyonlar plakanın merkezinde yer alan bir geofonsensör ile ölçülerek tabaka rijitlik modülleri geri hesaplanır. Bu çalışmada bir sathi kaplamalı güzergahta mevsimsel şartlara göre taşıma gücünde meydana gelen değişim iki farklı marka LWD cihazı ile yerinde yapılan hasarsız deneyler ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki LWD cihazıyla ölçülen deformasyon değerleri birbirine yakın olmakla birlikte Dynatest LWD sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmüştür.

## The Investigation of Bearing Capacity Changes of A Chip Seal Road Pavement By Using Prima 100 and Dynatest 3031 Light Weight Deflectometer Devices

### Abstract

#### Key words

Light weight deflectometer (LWD);  
Chipseals; Seasonal variation effect;  
Dynatest 3031 LWD;  
Prima 100 LWD

Light Weight deflectometer tests are economical and simple nondestructive tests method that were used to determining of bearing capacity of multi layered pavements. One of the most important advantage of this devices have portable systems. A fixed weight is applied on the circular plate with the devices like a traffic affects on the layered pavement surface. Deflections are become on the pavements surface for this load application, The deflections are measured with a geophone sensor of the plate and layer stiffness modulus of layers are back calculated. In this study, structural capacity variations of chip sealed pavement roads was investigated with nondestructive tests which were performed with two different LWD devices and results were correlated. Deflections values are close to each other which were determined both of the LWD devices however Dynatets LWD results are more consistent than other.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Sathi kaplamalar ekonomik nedenlerden dolayı ülkemiz karayollarında en çok uygulanan asfalt kaplama türüdür. Sathi kaplama, temel tabakası üzerine püskürtülen bitüm yapıştırma veya astar tabakası üzerine bitüm ve agrega tabakasının tek kat veya çift kat serilip, sıkıştırılması ile yapılan, alt tabakalar için geçirimsiz bir yüzey, araçlar için kayma direnci yüksek ve düzgün bir yuvarlanma

yüzeyi sağlayan, üstyapıyı trafik ve iklimin aşındırıcı etkilerinden koruyan ekonomik bir asfalt kaplama tipidir. Genellikle sathi kaplamalar bu fonksiyonları yerine getiremez duruma geldiği zaman, servis ömrünü tamamladığı kabul edilir. Granüler temel üzerine yapılan sathi kaplamaların performansına yapım öncesinde ve yapım sonrasında olmak üzere onlarca faktör etki edebilmektedir. Yapım öncesinde sathi kaplama, temel ve alttemel

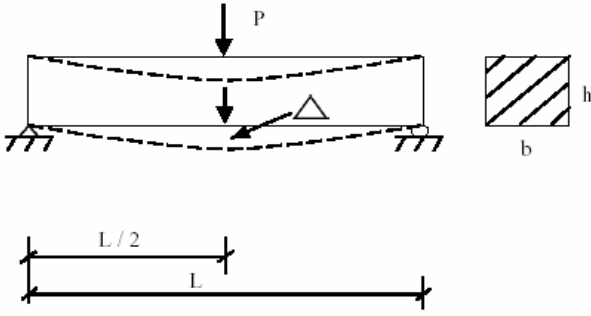
malzemeleri için uygun malzeme seçimi, yolun geometrisi, yapımda kullanılacak ekipmanlar ve bu ekipmanların kalibrasyonu, yapım sırasında sırasıyla mevcut yüzey üzerindeki hareketli parçaların süpürülmesi, bitüm, agrega serimi ve silindirme işlemlerinin doğru yapıp yapılmadığı, yapım esnasındaki hava sıcaklıkları ve nem oranları, yüzey sıcaklıkları, yüzeysel ve yüzey altı drenaj yapıları, yeni sathi kaplamalı yolun kontrollü olarak trafiğe açılıp açılmadığı, yapım aşamasında çalışan teknik elemanların deneyimi, yapımdan sonraki aşamada yolun ağır trafik ve eşdeğer hafif trafik hacmi ve daha da çoğaltılabilecek birçok parametre sathi kaplamaların yapım öncesinde performansını etkileyen parametrelerdir. Yapım sonrasında sathi kaplamanın maruz kaldığı ağır trafik hacmi, iklim koşulları, drenaj ve bakım önlemleri vb. birçok parametre sathi kaplamaların yapım sonrasında performansını dolayısıyla konforlu servis ömrünü olumsuz veya olumlu olarak etkileyebilmektedir.

Yol inşaatların yapımı ve sonrasında malzemelerle ilgili birtakım verilerin bilinmesi yolun uzun dönem performansı açısından oldukça önemlidir. Son yıllarda yol üst yapılarının performanslarının takip edilmesinde kullanılan hasarsız deney yöntemlerinden bir tanesi de hafif düşen ağırlık deformasyon deneyidir. Hafif düşen ağırlık deformasyon deneyi düşük hacimli, birden fazla tabakaya sahip olan yol üstyapılarının yapısal özelliklerinin değerlendirilmesinde ve performans takibinde kullanılan hasarsız bir deney yöntemidir (Loizos vd., 2003; Fujyu vd., 2004; Zaghoul vd., 2005; Alshibli vd., 2005; Fleming vd., 2007; Baiz, 2007). Pidwerbesky (1997), sıkıştırılmış bağlayıcısız temel tabakasının özelliklerini ve gelecek performansını tespit etmede kullanılabilecek en etkili cihazlardan birinin LWD cihazı olduğunu belirtmiştir. Bu cihazla, belirli bir yükseklikten bir ağırlık düşürülerek, kaplama yüzeyinde hareketli trafiğin etkisine benzeyen dinamik darbe basıncı oluşturulur. Uygulanan yük altında oluşan en yüksek deformasyonlar ve önceden belirlenen kaplama yüzey noktalarından toplanan verilerle deforme olmuş yol üstyapısının durumu hakkında bilgi edinilir. Her tabakanın kalınlık bilgileri ve tahmini rijitlik modülü aralıkları, deforme olmuş yol

üstyapı tabakaları ile teorik olarak eşleştirilmesinden çıkarılan tabaka rijitlik modülünün tayini için gerekli olan algoritmayı araştırmak için kullanılır. Sathi kaplama altındaki tabakaların rijitlik modülleri kaplamada meydana gelen bozulmaları oldukça etkiler (Bahia vd., 2008). Tabaka rijitlik modülü tayini, yol üstyapı mühendisliğinde, geri hesaplama olarak bilinen ve Birleşik Devletler'deki Karayolu İdarelerinin birçoğu tarafından kullanılan bir yöntemdir (Loizos vd., 2003; Shalaby, 2004; ASTM D4694-96R03-01, 2006). Bu çalışmada iki farklı LWD cihazı kullanılarak bir sathi kaplamalı yol üst yapısının mevsimsel şartlara göre performansında meydana gelen değişiklikler belirlenmiş ve iki farklı LWD cihazından alınan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

## **2. Hafif Düşen Ağırlık Deformasyon Cihazları**

Hafif düşen ağırlık deformasyon deneyi düşük hacimli, birden fazla tabakaya sahip olan yol üstyapılarının yapısal özelliklerinin değerlendirilmesinde ve performans takibinde kullanılan hasarsız bir deney yöntemidir (Loizos vd., 2003; Fujyu vd., 2004; Zaghoul vd., 2005; Alshibli vd., 2005; Fleming vd., 2007; Baiz, 2007). Düşen ağırlık deneyi birden fazla katmana sahip olan üst yapıların yapısal özelliklerini değerlendiren hasarsız bir deney yöntemidir. Belirli bir yükseklikten bir ağırlık düşürülerek, kaplama yüzeyinde hareketli trafiğin etkisine benzeyen dinamik darbe basıncı oluşturulur. Uygulanan yük altında oluşan en yüksek deformasyonlar ve önceden belirlenen kaplama yüzey noktalarından toplanan verilerle deforme olmuş kaplama yüzeyinin durumunu belirlemek için kullanılır. Her tabakanın kalınlık bilgileri ve tahmini rijitlik modülü aralıkları, deforme olmuş kaplama yüzeyi ile teorik olarak eşleştirilmesinden çıkarılan tabaka rijitlik modülünün tayini için gerekli olan algoritmayı araştırmak için kullanılır. Aslında bu işlem geri hesaplama olarak bilinen ve Birleşik Devletler'de birçok ulaştırma departmanı tarafından kullanılan bir yöntemdir (Shalaby, 2004).



Şekil 1. Basit mesnetlenmiş kiriş.

Geri hesaplama ile kaplama yapılarının ve alt tabakalarının önemli mühendislik özellikleri (Rijitlik modülü vb.) ölçülen yüzey deformasyonlarından hesaplanabilir. Geri hesaplama işleminin mantığı Şekil 1'de görülen basit mesnetlenmiş kiriş örneği ile şu şekilde özetlenebilir:

Şayet kirişin boyutları (L=boy, h=yükseklik ve b=genişlik), uygulanan yükün büyüklüğü (P) ve pozisyonu, kirişin orta açıklığında meydana gelen deformasyon ( $\Delta$ ) bilinirse, kirişin rijitlik modülünü (E), mühendislik mekaniğinden bilinen,

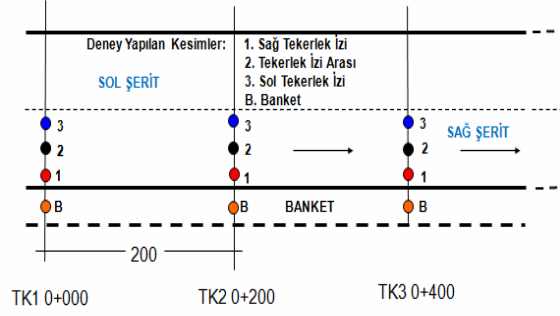
$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (1)$$

(1) denkleminde geri çekilerek hesaplanır. Düşen ağırlık deney cihazları da tahmin edilen deformasyon değeri ileri rijitlik modülünün hesaplanmasında kullanılır. Bu cihazlar birçok farklı isimlerle anılsa da temelde aynı mantığa sahiptirler.

### 3. Materyal ve yöntem

Çalışma Akşehir'i Konya'ya bağlayan sathi kaplamalı devlet karayolunda gerçekleştirilmiştir. Çalışma 1000 m uzunluğundaki bir gözlem güzergahında iki farklı mevsim de tekrarlanmıştır. Deneyler sağ şeritteki banket (B), sağ tekerlek izi (1), sol tekerlek izi (3) ve tekerlek izleri arasındaki noktalarda (2), 200 m aralıkla 6 farklı test kesiminde (TK) tekrarlanmıştır (Şekil 2).

Çalışmada Prima 100 ve Dynatest 3031 model iki farklı LWD cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). LWD deneyleri ASTM D 4694-96'ya (2006) uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. LWD deneylerinin gerçekleştirildiği deney güzergâhı krokisi.



Şekil 3. Prima 100 ve Dynatest LWD cihazları.

LWD Cihazları ölçüm yapılacak olan yüzeye konumlanan dairesel bir diskin üzerine düşen bir ağırlık ve darbenin etki ettiği temas noktasındaki maksimum deformasyonları ölçen, transdüşerden oluşmaktadır. Bu transdüşer yüzeye yerleştirilen diskin altında bulunmaktadır. Deney sırasında yaklaşık 20 kg ağırlığa sahip olan kütle 300 mm çaplı dairesel plaka üzerine düşürülür. Plaka üzerine düşen kütle 15-20 milisaniyelik yük pulsları oluşturur. Bu tip düşen ağırlık cihazlarının yük aralıkları ise 1 ila 15 kN arasında değişir. Çalışmada merkezi sensör kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Her iki model LWD cihazı ile 25 inç (63,5 cm) yükseklikten, 30 cm lik merkezi sensörlü plaka üzerine 10 kg'lık ağırlık düşürülmüştür. Genelde, tipik deformasyonlar doğrudan temas eden yükün hemen altında elde edilir (Shahin, 2002). Yüzeyin ölçülen deformasyonu uygulanan yük ile birleştirilerek, geleneksel Boussinesq Statik analizi kullanılmak suretiyle rijitlik modülleri hesaplanır (Anonymous, 2006). Geri hesaplamalarda Poisson oranı 0,35 kabul edilmiştir. Ölçülen merkez deformasyon ile LWD dinamik

deformasyon modülü:

$$E_{FWD} = \frac{K}{\delta_c} \left( 1 - \frac{P}{P_0} \right) \left( \frac{r}{2} \right)^2$$

(2) denklemi ile hesaplanır. Burada;

$E_{FWD}$  = FWD dinamik modülüdür.

$K$  =  $n/2$  ve 2, sırasıyla rijit ve esnek kaplamalar için.

$\delta_c$  = Merkez deformasyon.

$P$  = Uygulanan gerilme.

$r$  = Plakanın yarı çapı (300 mm).

Güzergâhlarda yapılan ölçümler için Dynatest LWD mod yazılımı kullanılarak temel tabakası ve taban zemini elastisite (rijitlik) modüllerinin geri hesaplamaları yapılmıştır. Genel olarak bu tip cihazlarla ölçülen deformasyonlar yol üst yapısının o anki yapısal durumunun performans göstergesi olarak kullanılır. Bilinen bir yük altında oluşan deformasyonun büyüklüğü yol üst yapı tabakalarının ve taban zeminin dayanımı ile ilgilidir.

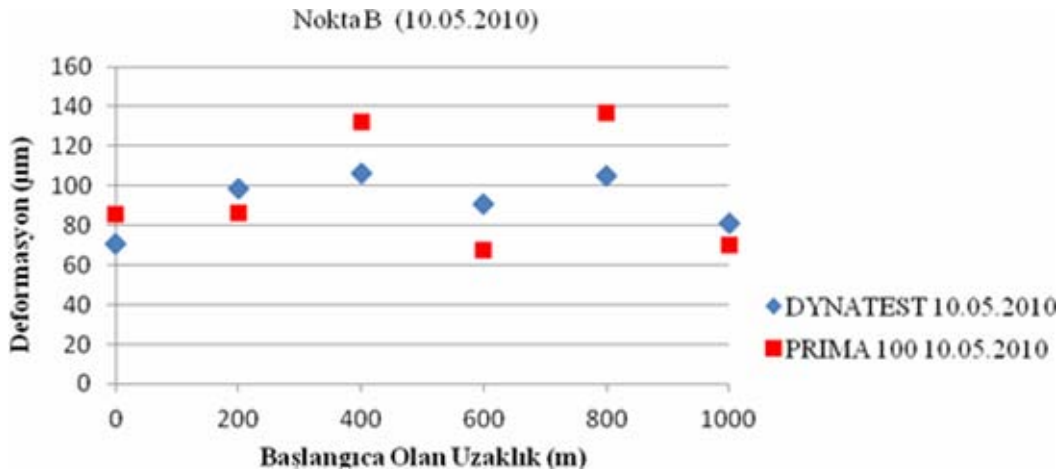
#### 4. Bulgular

##### 4.1. Deformasyon değerleri

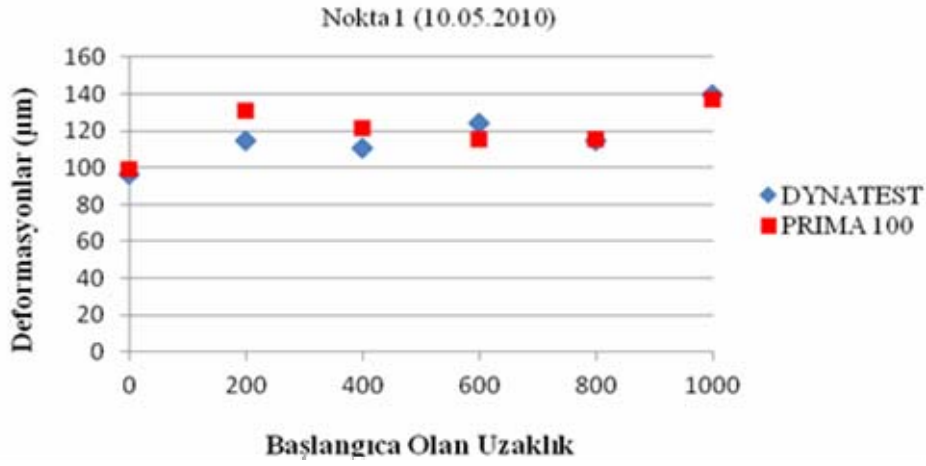
Akşehir-Konya arasındaki güzergahta ilkbahar ve Sonbahar mevsimlerin de beşer ay ara ile

gerçekleştirilen LWD deneyi sonuçlarına göre, ilkbahar mevsiminde, sırasıyla banket, sağ tekerlek izi, tekerlek izleri arası ve sol tekerlek izlerinde Prima 100 ve Dynatest 3031 cihazları ile elde edilen deformasyon okuma karşılaştırmaları sırasıyla Şekil 4, 5, 6 ve 7'de görülmektedir. Beşinci ayda gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre banket noktalarında Dynates LWD ile ortalama 92,1  $\mu$ m deformasyon okuması görülürken bu değer Prima100 LWD cihazında 96,3  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. B noktasında Dynatest ile yapılan deney sonuçlarında standart sapma 14,0 iken Prima 100 LWD cihazında 30,4 olarak elde edilmiştir. Banket noktalarında Dynatest deney sonuçlarının daha kararlı olduğu görülmektedir (Şekil 4).

Dynatest LWD ile 1 Noktalarında yapılan deney sonuçlarında ortalama 116,8  $\mu$ m deformasyon elde edilirken, Prima 100 LWD ile yapılan deney sonuçlarına göre ortalama 119,9  $\mu$ m deformasyon elde edilmiştir. 1 noktalarında da Prima 100 LWD ile Dynatest LWD ye göre daha yüksek deformasyon değeri elde edilmiştir. Dynatest deney sonuçlarındaki standart sapma 14,5 iken Prima 100 deney sonuçlarındaki standart sapma 13,4 olarak birbirine yakın değer elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Beşinci ayda B noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.

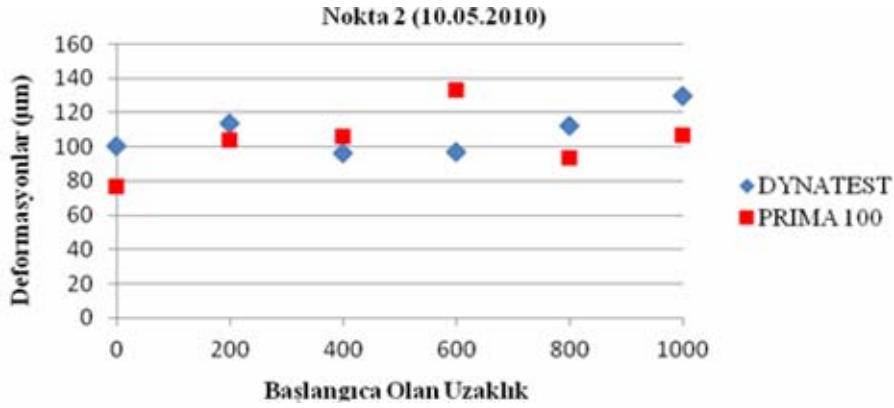


Şekil 5. Beşinci ayda 1 noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.

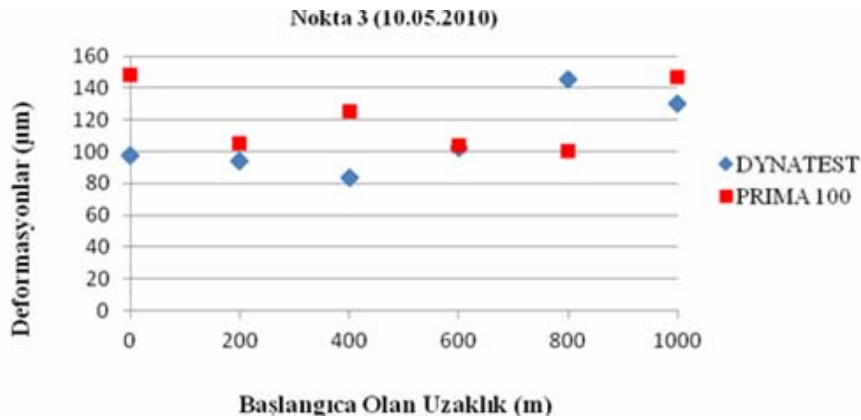
Tekerlek izi arası noktalarda (2) Dynatest ile ortalama 108,3 µm, Prima 100 ile ise ortalama 103,3 µm deformasyon elde edilmiştir. Dynatest'deki standart sapma 13,0 iken aynı noktalarda Prima 100'deki standart sapma 18,7 olarak elde edilmiştir. Makro doku derinliğinin yüksek olduğu banket ve tekerlek izi arası gibi (2) bölgelerde Prima 100 ile belirlenen deformasyon

sonuçlarının daha kararsız olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Sol tekerlek izi noktalarında Dynatest ile ortalama 108,9 µm, Prima 100 ile ortalama 121,6 µm deformasyon değerleri elde edilmiştir. Dynatest deney sonuçlarının standart sapması 23,9 iken, Prima 100 cihazından alınan deney sonuçlarının standart sapması 22,0'dır (Şekil 7).



Şekil 6. Beşinci ayda 2 noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.



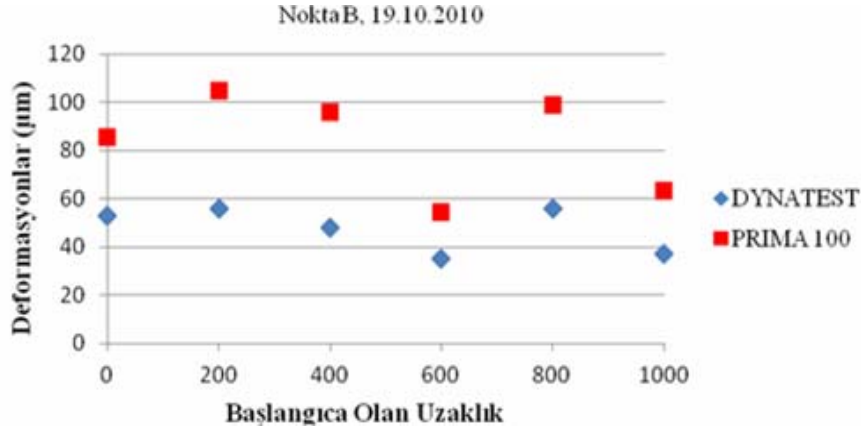
Şekil 7. Beşinci ayda 3 noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.

Aynı deney sonuçları, aynı güzergahta, 10. Ayda tekrar deney yapılmak suretiyle yeniden

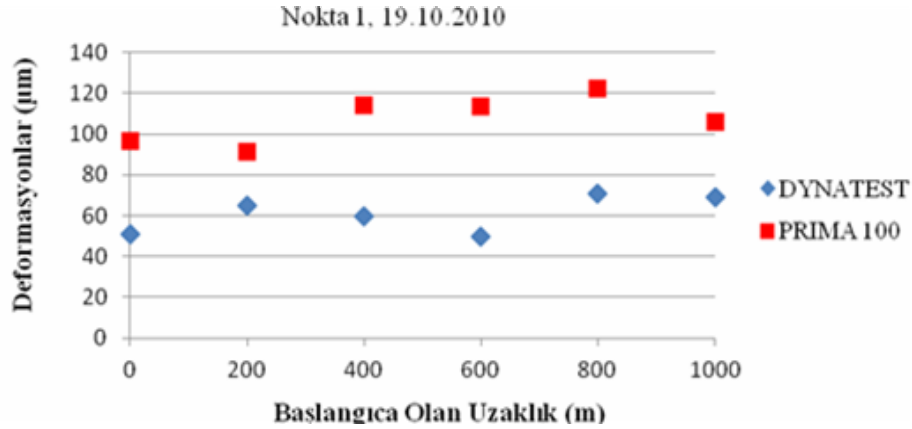
karşılaştırılmıştır. Buna göre B noktalarındaki deney sonucu karşılaştırmaları Şekil 8'de görülmektedir. Buna göre Dynatest ile ortalama 47,5  $\mu\text{m}$ , Prima 100 ile 83,8  $\mu\text{m}$  deformasyon değerleri elde edilmiştir. Dynatest sonuçlarının standart sapması 9,4 iken, Prima 100 deney sonuçlarının standart sapmasının 20,5 olduğu görülmüştür.

Deneyler 1 noktalarında tekrarlandığında, Dynatest ile ortalama 61,0  $\mu\text{m}$ , Prima 100 ile ortalama 107,3  $\mu\text{m}$  deformasyon elde edilmiştir.

Dynatest deney sonuçlarına göre standart sapma 9,0 iken, Prima 100 sonuçlarına göre 11,8 olduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 8. Onuncu ayda B noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.

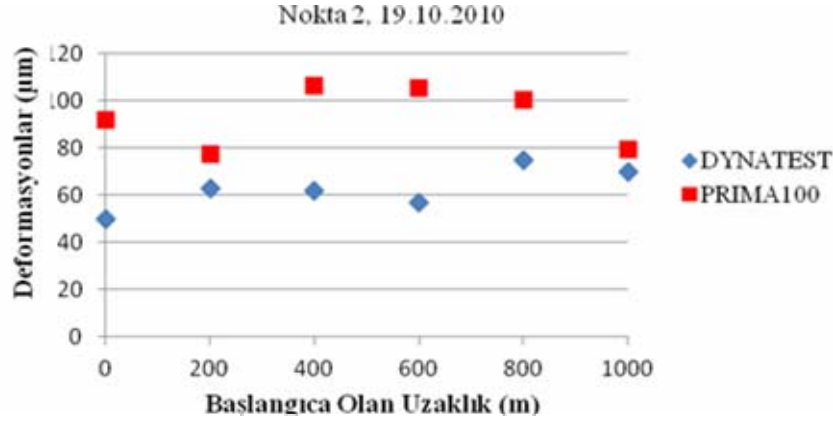


Şekil 9. Onuncu ayda 1 noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.

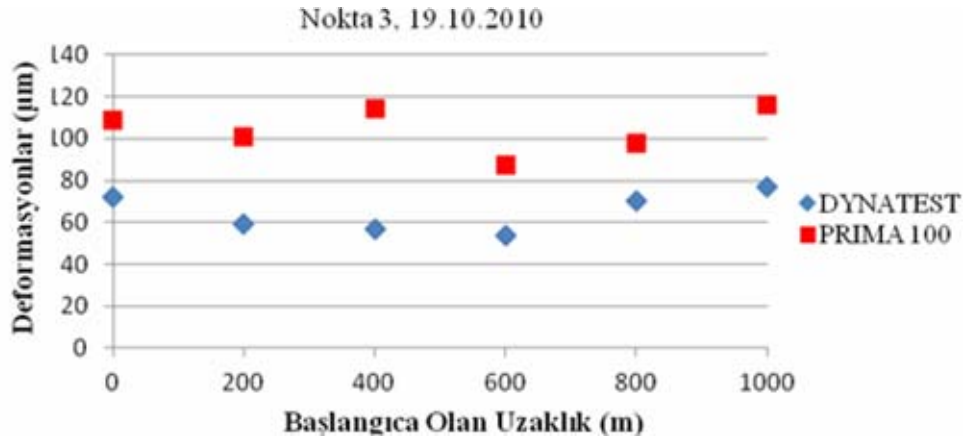
Onuncu ayda 2 noktalarında deneyler tekrarlandığında Dynatest ile 62,8  $\mu\text{m}$ , Prima 100 ile 93,6  $\mu\text{m}$  deformasyon değerleri elde edilmiştir. Dynatest sonuçlarına ait standart sapma değerleri 8,9 iken, Prima 100 cihazına ait deney sonuçları standart sapması 12,8 olarak elde edilmiştir (Şekil 10). Sol tekerlek izi deney sonuçlarına göre cihazların eğilimi değişmemiştir. Dynatest ile ortalama 64,8  $\mu\text{m}$  deformasyon değeri elde edilirken, Prima 100 LWD ile ortalama 104,1  $\mu\text{m}$

deformasyon elde edilmiştir. Dynatest sonuçlarının standart sapması 9,4 iken, Prima 100 deney sonuçlarının standart sapması 10,9 elde edilmiştir (Şekil 11).

Onuncu aydaki deney sonuçlarına göre deformasyon değerlerinin her iki cihaza ait deney sonuçlarında da azalma gösterdiği bununla birlikte azalmanın Dynatest LWD cihazından alınan sonuçlarda daha belirgin olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Onuncu ayda 2 noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.



Şekil 11. Onuncu ayda 3 noktalarındaki Dynatest ve Prima 100 deformasyon değişimleri.

#### 4.2. Temel tabakası elastisite modülü değişimleri

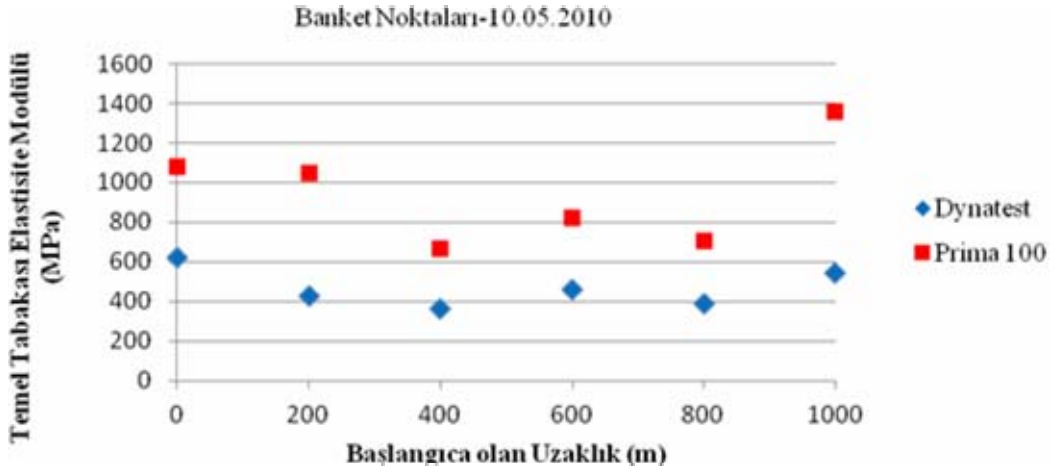
Her iki cihazla LWD deneyleri yapıldıktan sonra Dynatest için LWD mod, Prima 100 için kendi yazılımları kullanılarak elastisite modülü geri hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre 10.05.2010 ve 19.10.2010 tarihlerindeki deneylerde elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 12-15 ve Şekil 16-19'de görülmektedir. Beşinci ayda B noktasında gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre, elastisite modülleri değerlerinde Dynatest ve Prima 100 LWD cihazlarına ait sonuçlarda elastisite modülü sonuçlarında oldukça farklılık olduğu görülmektedir (Şekil 12). Dynatest geri hesaplama sonuçlarına göre B noktalarında temel tabakası elastisite modülü ortalama 468 MPa olarak bulunurken, Prima 100 geri hesaplama sonuçlarına göre 946 MPa olarak bulunmuştur. Dynatest sonuçlarındaki standart sapma 99 iken, Prima 100 sonuçlarındaki standart sapma 264'dür.

Beşinci Ayda sağ tekerlek izi (1) noktalarında yapılan deney sonuçlarına göre, Dynatest ile temel tabakası elastisite modülü ortalama 377 MPa olarak bulunurken, Prima 100 geri hesaplama sonuçlarına göre 801 MPa olarak bulunmuştur. Dynatest sonuçlarındaki standart sapma 39 iken Prima 100 sonuçlarındaki standart sapma 99'dür (Şekil 13). Deformasyon sonuçlarında olduğu gibi, elastisite modülü geri hesaplamalarında da Sağ tekerlek izi, sol tekerlek izi ve tekerlek izi arası noktalarında elde edilen sonuçlar daha karardır. Bununla birlikte bu noktalarda da Dynatest LWD ile elde edilen sonuçların Prima100 LWD ile elde edilen sonuçlara göre daha kararlı olduğu görülmektedir.

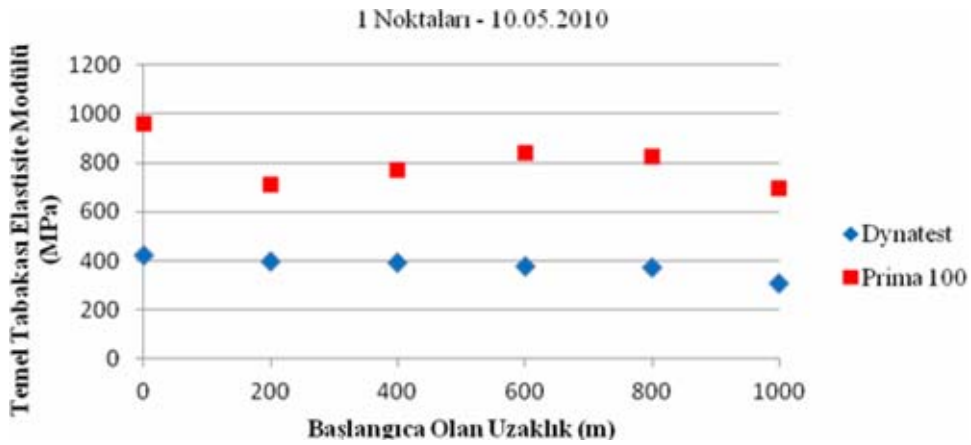
Beşinci ayda 2 Noktalarında gerçekleştirilen deney sonuçlarında da Dynatest sonuçlarına göre elastisite modülü ortalama 401 MPa elde edilirken, Prima 100 sonuçlarına göre ortalama 957 MPa elde

edilmiştir. Dynatest sonuçlarından elde edilen geri hesaplama sonuçlarının daha kararlı olduğu anlaşılmaktadır. Dynatest sonuçlarındaki standart

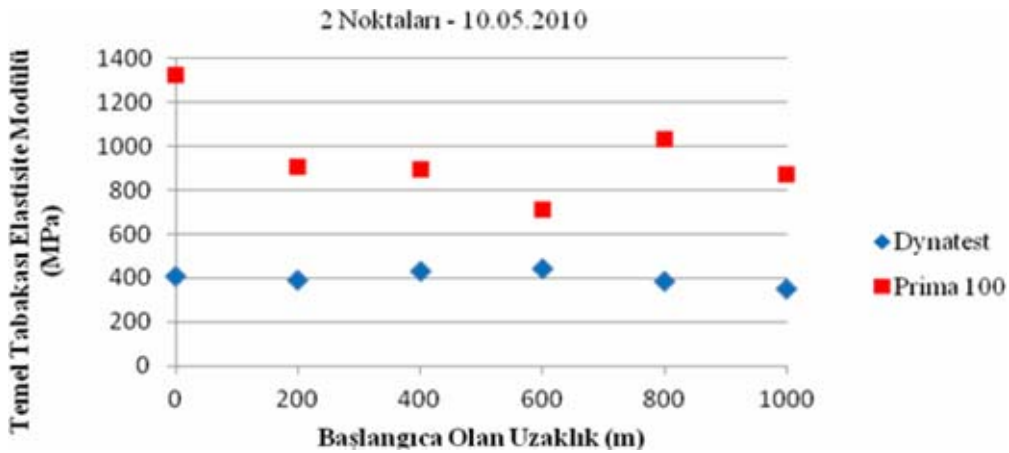
sapma 34 iken, Prima 100 sonuçlarındaki standart sapma 207'dir (Şekil 14).



Şekil 12. Beşinci ayda B noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.



Şekil 13. Beşinci ayda 1 noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.

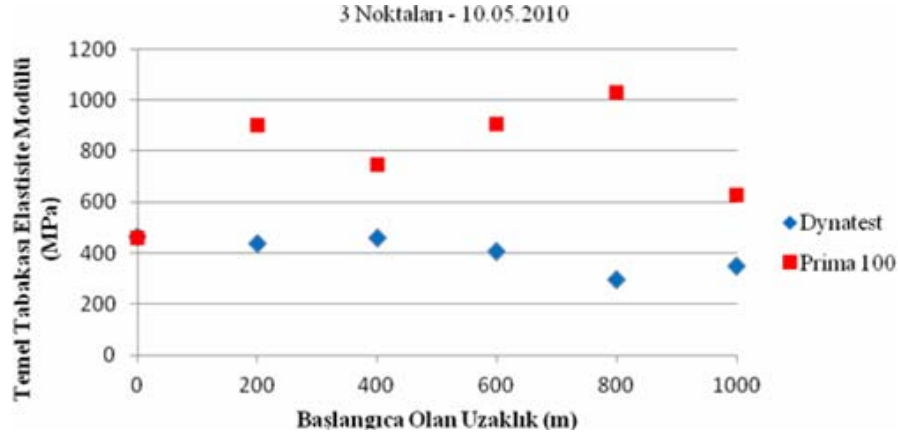


Şekil 14. Beşinci ayda 2 noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.

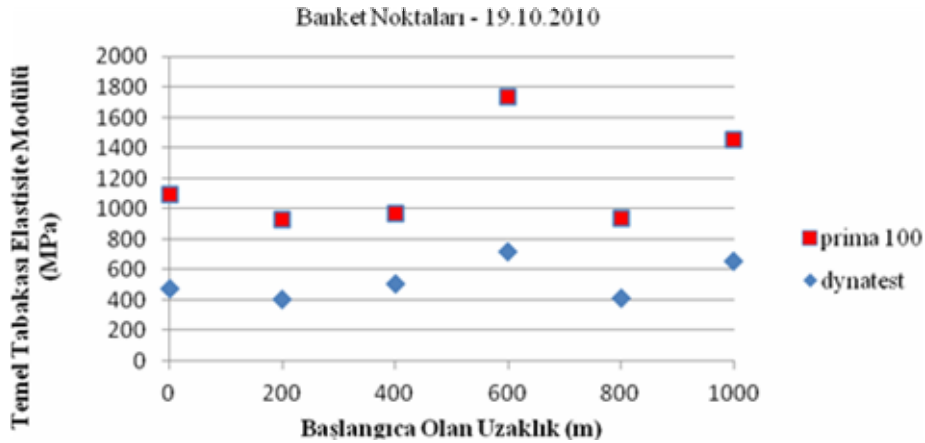


Beşinci ayda 3 Noktalarında gerçekleştirilen deney sonuçlarında da Dynatest sonuçlarına göre elastisite modülü ortalama 401 MPa elde edilirken, Prima 100 sonuçlarına göre ortalama 779 MPa elde edilmiştir. Dynatest sonuçlarından elde edilen geri hesaplama sonuçlarının daha kararlı olduğu anlaşılmaktadır. Dynatest sonuçlarındaki standart sapma 68 iken Prima 100 sonuçlarındaki standart sapma 210'dur (Şekil 15). Söz konusu LWD

deneyleri aynı güzergahta, aynı noktalarda onuncu ayda tekrar gerçekleştirilmiş ve her iki cihazdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre B noktalarındaki elastisite modülleri karşılaştırmaları Şekil 16'da görülmektedir. Dynatest geri hesaplamaları sonucunda, ortalama temel tabakası elastisite modülleri 528 MPa, Prima 100 ile 1185 MPa olarak elde edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 15. Beşinci ayda 3 noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.

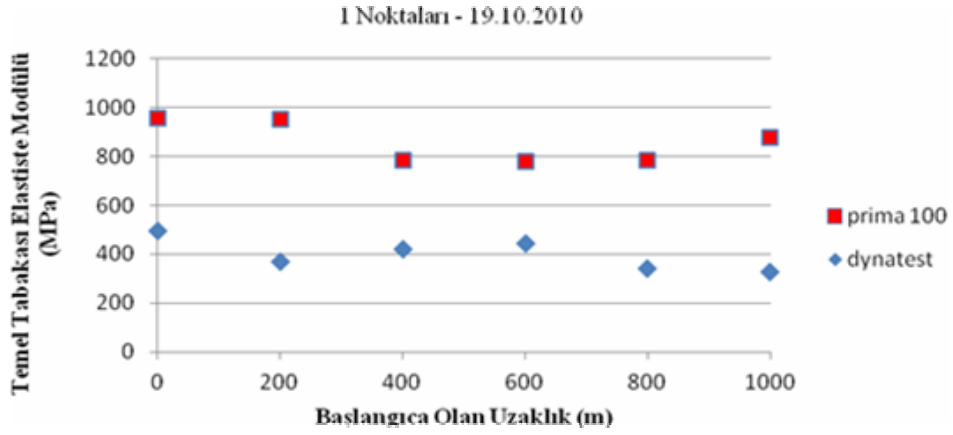


Şekil 16. Onuncu ayda B noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.

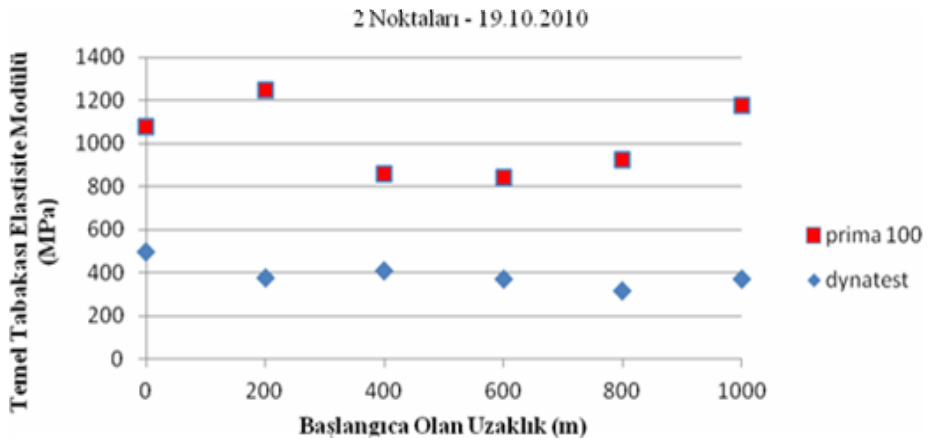
Onuncu ayda sağ tekerlek izinde (1) yapılan deney sonuçlarına göre, Dynatest LWD ile ortalama temel tabakası elastisite modülleri 400 MPa, Prima 100 ile 857 MPa olarak elde edilmiştir. Onuncu ayda tüm noktalarda standart sapmaların yükseldiği gözlenmiştir. Dynatest sonuçlarındaki standart sapma 66 iken, Prima 100 sonuçlarındaki standart sapma 85 olarak elde edilmiştir (Şekil 17).

Onuncu ayda tekerlek izleri arasında (2) deneyler tekrar edildiğinde Dynatest LWD ile ortalama 390 MPa, Prima 100 LWD ile 1020 MPa

ortalama temel tabakası elastisite modülü değerleri elde edilmiştir (Şekil 18). Yol yüzeyinde herhangi bir bozulma olmadığı sürece 1,2 ve 3 noktalarında beklenen birbirine yakın elastisite modülü değerleridir. Nitekim Dynatest LWD ile 1 noktasındaki değere yakın değer elde edilirken, Prima 100 LWD ile elde edilen değer 1 noktası temel tabakası elastisite modülü değerinden oldukça farklıdır. Dynatest elastisite modülü geri hesaplama sonuçlarındaki standart sapma 60 iken, Prima 100 sonuçlarındaki standart sapma 171'dir.



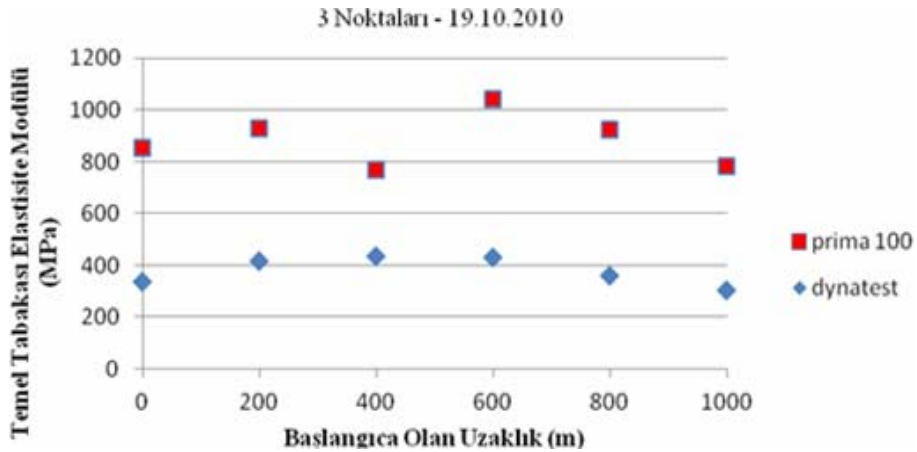
Şekil 17. Onuncu ayda 1 noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.



Şekil 18. Onuncu ayda 2 noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.

Onuncu ayda 3 noktalarında deneyler yapıldığında Dynatest LWD ortalama temel tabakası elastisite modülü 380 MPa, Prima 100 ile 883 MPa

elde edilmiştir. Dynatest LWD sonuçlarındaki standart sapma 56 iken Prima 100 LWD ile 103 elde edilmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Onuncu ayda 3 noktalarındaki Elastisite Modülü değişimleri.

## 5. Sonuçlar ve tartışma

İki farklı LWD cihazı ile iki farklı mevsimde, aynı güzergâhtaki, sağ şeride ait 6 farklı deney kesimindeki, banket, sağ tekerlek izi, tekerlek izleri arası, sol tekerlek izlerinde gerçekleştirilen deneyler neticesinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- LWD cihazlarından elde edilen deformasyon sonuçlarına göre Dynatest ve Prima 100 LWD cihazlarının belli noktalarda örtüştüğü görülmektedir. Bununla birlikte Prima 100 LWD ile ölçülen deformasyon değerlerinin, Dynatest LWD ye göre yüksek olduğu görülmektedir. Beşinci ayda yapılan ölçümlerde iki farklı LWD cihazı deformasyon değerleri arasında farkın az olduğu fakat onuncu ayda deformasyonlar arasındaki farkın arttığı fakat güzergahta görülen deformasyonların azaldığı görülmektedir. Beşinci ayda deformasyonların artmasına yağışlardan dolayı alt tabakalara nüfus eden nemin neden olduğu düşünülmektedir. Nitekim Paige-Green'de temel ve alt temel tabakalarında su muhtevası içeriğinin artmasıyla, deformasyon eğiliminin de artış gösterdiğini belirtmiştir. Dolayısıyla mevsimsel geçişlerde sathi kaplamalı yol üst yapıların taşıma güçleri de değişkenlik göstermektedir.
- Elastisite modülü geri hesaplama sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Dynatest LWD ve Prima 100 LWD sonuçlarının önemli ölçüde farklı olduğu görülmektedir. Prima 100 LWD ve Dynatest LWD elastisite modülü geri hesaplama sonuçları kendi içinde değerlendirildiğinde Dynatest geri hesaplama sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmektedir.
- Banket gibi hareketli agrega parçacıklarının bulunduğu sathi kaplama yüzeylerinde deformasyon okumalarında Dynatest LWD cihazının daha tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Genel olarak her iki LWD cihazıyla ölçülen deformasyon değerleri birbirine yakın olmakla birlikte Dynatest LWD cihazından elde edilen sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma 07.TEF.02 Nolu Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda gerçekleştirilmiştir. Yazarlar çalışmaya destek olan Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine ve deneysel çalışmalara destek olan Yapı Öğretmenliği bölümü lisans öğrencisi Burak Akyazı'ya teşekkür ederler.

## Kaynaklar

- Anonymous, 2006. Dynatest 3031 LWD Test Systemowner's Manuel. 49 p. Denmark.
- Alshibli, K.A., Abu-Farsakh, M., ve Seyman, E., 2005. Laboratory Evaluation of the Geogauge and Lighth Falling Weight Deflectometer as Construction Control Tools. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17, 560-569.
- ASTM D 4694-96. 2006. Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, Vol. 04.03.US.
- Bahia, H., Jenkins, K. ve Hanz, A., 2008. Performance Grading of Bitumen Emulsions for Sprayed Seals. 1st Sprayed Sealing Conference, Adelaide, Australia.
- Baiz, S., 2007. Using Road Weather Information Systems (RWIS) to Optimize the Scheduling of Load Restrictions on Northern Ontario's Low-Volume Highways. University of Waterloo, MScThesis, p.96, Waterloo, Ontario, Canada.
- Fleming, P.R., Frost, M.W. ve Lambert, J.P., 2007. Review of the Light Weight Deflectometer (LWD) for Routine in situ Assessment of Pavement Material Stiffness, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 07-1586, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- Fujyu, T., Sugawara, J., Takuno, H. Ve Okano, H., 2004. Load and Deflection Measurement for Evaluation of Ground Strength with Portable FWD System, SICE Annual Conference in Sapporo, Hokkaido Institute of Technology. pp.489, Japan.
- Loizos, A., Boukoulas, G. Ve Karlaftis, A., 2003. Dynamic Stiffness Modulus for Pavement Subgrade Evaluation. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 129, 434-442.
- Paige-Green, P., 2009. Lessons Learned during Regular Monitoring of in situ Pavement Bearing Capacity Conditions, 8th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRA), Illinois, US, 1-12.
- Pidwerbesky, B., 1997. Evaluation of Non-Destructive in

- situ Test for Unbound Granular Pavements. IPENZ Transactions, 24, 12-17.
- Prima 100 LWD test systemowner's manuel, 2008.[http://www.cooper.co.uk/info/index.asp?page=prima\\_100\\_lwd\\_124](http://www.cooper.co.uk/info/index.asp?page=prima_100_lwd_124), Erişim Tarihi 02.04.2008
- Shahin, M.Y., 2002. Pavement Management fot Airports, Roads and Parking Lots. Kluwer Academic Publishers, US. 450 p.
- Zaghloul, S.,Gucunski, N., Jackson, H. ve Marukic, I., 2005. Falling Weight Deflectometerys Laboratory Determined Resilient Modulus (Slabcurlingstudy). NJ DOT Final Research Report, New Jersey, US.