



## Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kaplama Kalınlığı ve Üstyapı Maliyetinin En Küçük Kareler Yöntemiyle Hesaplanması

### The Calculation of the Pavement Thickness and the Pavement Cost in the Flexible and Rigid Pavements with the Least Squares Method

Abdulrezzak BAKIŞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Müh.- Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, BİTLİS, TURKEY

Başvuru/Received: 19/12/2017

Kabul/Accepted: 12/05/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/06/2018

#### Öz

Gerek esnek üstyapılarda gerekse rijit üstyapılarda, tabaka kalınlık ve maliyet hesaplamalarının yapılması oldukça zaman almaktadır. Korelasyon ve regresyon analizleriyle bu hesaplamalar basit bir denklem üzerinden yapılabilir. Bunun sonucunda, geleneksel uzun matematiksel işlemler ile hesaplanan 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısına (W8,2) bağlı olarak üstyapı kaplama kalınlığı ve üstyapı maliyet hesaplamaları, bu çalışma ile elde edilen doğrusal denklem ile çok basit bir yöntemle çözülmüştür. Bu çalışmada MATLAB programı kullanılarak 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısına göre, bir karayolu üstyapı inşasında kaplama kalınlıkları ve 1 km yol uzunluğu için üstyapı maliyetleri, en küçük kareler yöntemiyle kolerasyon ve regresyon analizleri yapılarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısına bağlı olarak yapılabilecek en uygun kaplama kalınlığı ve 1 km yol üstyapı imalatı için maliyeti hesaplayan formüller elde edilmiştir. MATLAB ile bulunan yeni formüller ile klasik olarak hesaplanan sonuçlar karşılaştırıldığında; sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen formüller ile üstyapı kaplama kalınlıkları ve üstyapı maliyetleri pratik bir şekilde yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“Esnek üstyapı, Bitümlü Sıcak Karışım, Rijit üstyapı, Korelasyon, Regresyon”

#### Abstract

It takes substantially time to calculate the layer's thickness and cost in both of flexible and rigid pavements. These calculations can be easily made through a simple equation with the correlation and regression analyses. As its result, the pavement thickness and the pavement cost calculations have been solved with very simple method with the linear equation which has been obtained with this study on the basis of 8.2 tons equivalent single-axle load recurrence number (W8.2) which has been calculated with the conventional long mathematical operations. In this study, the pavement thickness in the construction of road pavement and the pavement cost for 1 km road have been found with the least squares method as their correlation and regression analyses have been made, according to 8.2 tons equivalent single-axle load recurrence number with the use of MATLAB program. As the study's result, the formulas which have calculated the most suitable pavement thickness and the cost for manufacturing 1 km road pavement which can be made on the basis of 8.2 tons equivalent single-axle load recurrence number have been obtained. When the new formulas which have been found with MATLAB and the results which have been calculated classically are compared; it has been seen that the results are too close to each other. The pavement's thickness and the pavement's costs can be practically calculated approximately with the formulas which have been obtained.

#### Key Words

“Flexible pavement, Hot Mix Asphalt, Rigid pavement, Correlation, Regression”

## 1. GİRİŞ

Karayolu üstyapıları; esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir (Ağar vd. 1998). Esnek üstyapı; genel olarak kaplama, temel ve alt temel tabakasından oluşmaktadır. Yüksek standartlı yollarda kaplama tabakası aşınma ve binderden oluşan bitümlü iki tabaka şeklinde yapılmaktadır. Düşük standartlı yollarda ise tek kat ve ya çift kat sathi kaplama olarak inşa edilmektedir.

Ülkemizde toplam eşdeğer standart dingil yükü sayısı 40000'den az ise stabilize, 40000-100000 arası stabilize ve ya tek kat sathi kaplama, 100000-500000 arası tek kat sathi kaplama, 500000-2000000 arası çift kat sathi kaplama, 2000000'dan fazla ise asfalt kaplama yapılmaktadır (Tunç, 2007). Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK) asfalt ve agreganın uygun bir ısıya kadar ısıtılıp uygun oranlarda plentde karışımı ile elde edilmekte ve yüksek standartlı esnek kaplamaların üst tabakalarında kullanılmaktadır. BSK'lar genel olarak yüksek standartlı yol üst yapısında Aşınma, Binder ve Bitümlü Temel tabakalarında kullanılmaktadır. Esnek üstyapı tabaka kalınlıkları hesaplamaları için, Karayolları Genel Müdürlüğü 2008'de Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberini yayınlamıştır. Bu rehberde zemin taşıma gücüne, trafik yüküne, bölge ve iklim koşullarına ve üst yapı tabakalarının özelliklerine bağlı olarak esnek üstyapı tabaka kalınlıklarını hesaplanabilmektedir. Rehberde, 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı değerlerine göre esnek üstyapı kalınlıkları hesaplanabilmektedir. Esnek üstyapı maliyet hesaplaması, rehberdeki formül yardımıyla bulunan esnek üstyapı kalınlıklarına göre ayrıca hesaplanmaktadır.

Rijit üstyapı, alt temel ve üzerine yapılan beton kaplamadan meydana gelmektedir. Rijit üstyapı tasarımında amaç, üstyapıdaki tabaka kalınlıklarını ve üstyapıda kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemektir (Bayrak, 2007). 20 yıllık proje ömrü içinde, standart dingil yükü sayısı 60-75x106'dan fazla olan yollar ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5000'den fazla kalkış yapan havaalanlarının rijit kaplama yapılma zorunluluğu bulunmaktadır. Birçok kurum, yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari taşıt sayısının 5000'den fazla olması halinde beton kaplama yapılmasını öngörmektedir (Tunç 2007). Beton yollar asfalt yollara nazaran bakım giderleri az ve daha uzun hizmet vermesi nedeniyle daha ekonomik çözüm sunmaktadır (Uçar 2002). Ülkemizde beton kaplamalı yollar deneme amaçlı Afyon ilinde yapılmakla birlikte havaalanlarında pist ve benzeri yapılarda, terminallerde yükleme, boşaltma ve otopark sahalarında, kısmen şehir içi yol ve benzeri yerlerde rijit kaplamaların yapımı hızla yaygınlaşmaktadır (Bakış, 2015).

Beton kaplamalar trafik yüklerinden dolayı oluşan gerilmelere karşı koymak ve trafik yüklerini zemine aktarmak amacıyla ağır taşıt trafiğinin bulunduğu kısımlarda yapılmaktadır. Beton kaplamalar donatısız, kısmen donatılı veya sürekli donatılı ve ön germeli olarak yapılabilmektedir. Rijit kaplamalarda zeminlerde don kabarması, şişme ve büzülmeleere karşı koymak, kaplama altı drenajı sağlamak, kaplamanın taşıma gücünü artırmak, ağır taşıtların meydana getirdiği pompaj etkisini önlemek ve beton plak için düzgün yüzey oluşturmak amacıyla beton plağın altına alt temel yapılmaktadır. Her geçen gün artan ticari taşıt sayıları göz önüne alınarak yakın gelecekte yol üstyapısı olarak beton kaplamaların yaygınlaşacağı beklenmektedir.

AASHTO yol testinden elde edilen formül kullanılarak rijit üstyapı kaplama kalınlık hesaplamaları yapılabilmektedir. AASHTO'da belirtilen formül yardımıyla 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı (W<sub>8,2</sub>) değerlerine göre bulunan esnek üstyapı kalınlıkları göz önüne alınarak, daha sonra birim fiyatlar yardımıyla esnek üstyapı maliyet hesaplaması yapılabilmektedir. Gerek esnek üstyapılarda gerekse rijit üstyapılarda, tabaka kalınlık ve maliyet hesaplamalarının yapılması oldukça zaman almaktadır. Korelasyon ve regresyon analizleriyle bu hesaplamalar basit bir eşitlik üzerinden yapılabilir.

Korelasyon iki sayısal ölçüm arasında doğrusal bir ilişkinin varlığını, bu ilişkinin yön ve şiddetinin derecesini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Korelasyon, istatistikte iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya çıkarmaktadır. İstatistiksel kullanımda genel olarak korelasyon, bağımsızlık durumundan ne kadar uzaklaşıldığını ifade etmektedir. Korelasyon katsayısının 0,8 den büyük olması, iki doğrusal ilişki arasında kuvvetli bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir (Kul, 2017). Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek ve bu ilişki ile ilgili sayısal bağlantıyı elde etmek için kullanılan analiz metodudur (Karacabey ve Gököz, 2012).

Bu çalışmada Matlab programı kullanılarak 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısına göre, bir karayolu üstyapı inşasında kaplama kalınlıkları ve 1 km yol uzunluğu için üstyapı maliyetleri, en küçük kareler yöntemiyle korelasyon ve regresyon analizleri yapılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısına bağlı olarak kaplama kalınlıkları ve 1 km uzunluktaki yol üstyapı maliyetini hesaplayan eşitlikler elde edilmiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Esnek Üstyapı Kaplama Kalınlık ve Maliyet Hesaplama Yöntemi

Esnek kaplamaların dizaynı için Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberinde Eşitlik 1 kullanılmaktadır (Güngör ve Sağlık, 2008):

$$\log (T_{8,2}) = Z_R S_0 + 9,36 \log (SN+1) - 0,20 + \log [(4,2-P_t)/(4,5-1,5)] / 0,40 + [1094/(SN+1)^{5,19}] + 2,32 \log M_R - 8,07 \quad (1)$$

Üstyapı kalınlıklarının hesaplanması için bilinen T8.2, Pt, ZR, So değerleri yardımıyla Formül 1'den SN değeri bulunmakta, hesaplanan SN değeri, üstyapı tabakalarının izafi mukavemet sayıları ile bağlantılı olarak üstyapı kalınlıklarına dönüştürülmektedir (Güngör ve Sağlık, 2008). Esnek üstyapı kaplama kalınlık hesaplamasında; esnek üstyapı kaplama tabakasının aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarından oluştuğu göz önüne alınmıştır. Maliyet hesaplamalarında kaplama ile birlikte temel ve alttemel tabakaları da dikkate alınmıştır. T8,2 (8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı) 1x10<sup>7</sup>, 2x10<sup>7</sup>, 3x10<sup>7</sup>, 4x10<sup>7</sup>, 5x10<sup>7</sup>, 6x10<sup>7</sup>, 7x10<sup>7</sup>, 8x10<sup>7</sup>, 9x10<sup>7</sup> ve 10x10<sup>7</sup> değerlerine göre hesaplamalar yapılarak esnek üstyapı kalınlıkları oluşturulmuştur. Hesaplanan esnek üstyapı kalınlıklarına göre maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

## 2.2. Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlık ve Maliyet Hesaplama Yöntemi

Rijit kaplama kalınlığı hesaplaması, AASHTO yol testinden elde edilen Eşitlik 2' ye göre yapılmaktadır (AASHTO, 1993):

$$\log W_{8,2} = Z_R S_0 + 7,35 \log (D+1) - 0,06 + \log [\Delta PSI / (4,5-1,5)] / 1 + [1,624 \cdot 10^7 / (D+1)^{8,46}] + (4,22 - 0,32 P_t) \log (S_c' C_d [D^{0,75} - 1,132] / 215,63 J [D^{0,75} - [18,42 / (E_c / k^{0,25})]]) \quad (2)$$

Rijit üstyapı kalınlık hesaplamasında rijit üstyapı kaplama tabakasının C30/37 beton kaplama tabakasından oluştuğu göz önüne alınmıştır. Rijit üstyapı maliyet hesaplamasında; C30/37 beton kaplama ile alttemel tabakası göz önüne alınmıştır. Esnek ve rijit üstyapı alttemel kalınlıkları birbirine eşit alınmıştır. W8,2 (8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı) 1x10<sup>7</sup>, 2x10<sup>7</sup>, 3x10<sup>7</sup>, 4x10<sup>7</sup>, 5x10<sup>7</sup>, 6x10<sup>7</sup>, 7x10<sup>7</sup>, 8x10<sup>7</sup>, 9x10<sup>7</sup> ve 10x10<sup>7</sup> değerlerine göre hesaplamalar yapılarak rijit kaplama üstyapı kalınlıkları oluşturulmuştur. Hesaplanan rijit üstyapı kalınlıklarına göre maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

## 2.3. Korelasyon ve Regresyon Analizleriyle Üstyapı Kaplama Kalınlık ve Maliyet Hesaplama Yöntemi

Pearson korelasyon katsayı r ile ifade edilmekte ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (Karacabey ve Gökgöz, 2012):

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2) \times (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (3)$$

Bu çalışmada korelasyon katsayısı, veriler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını saptamak için kullanılmıştır. Bu çalışmada korelasyon katsayısı hesabı, W8,2 değerlerine bağlı olarak üstyapı cinsine göre kaplama kalınlıkları arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığını tespiti amacıyla yapılmıştır. Aynı şekilde W8,2 değerlerine bağlı olarak 1 km uzunluktaki bir yol için, üstyapı cinsine göre maliyetler arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı da korelasyon katsayısı hesabıyla ortaya çıkarılmıştır.

Regresyon analizi değerler arasındaki ilişkiyi fonksiyonel bir eşitlik olarak ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada doğrusal regresyon kullanılarak ve y=ax+b şeklinde bir denklem düşünüldüğünde, regresyon analizi sonucunda a ve b katsayıları bulunup denklemde yerine yazılmıştır. Bunun sonucunda, geleneksel uzun matematiksel işlemler ile hesaplanan W8,2 değerlerine bağlı olarak kaplama kalınlığı ve maliyet hesaplamaları, bu çalışma ile elde edilen doğrusal denklemler ile çok basit bir yöntemle çözülmüştür. Regresyon analizinde bulunacak değerler a ve b değerleridir. Genel olarak regresyonda a ve b değerleri Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 ile hesaplanabilmektedir (Karacabey ve Gökgöz, 2012):

$$a = \frac{(\sum Y \times \sum X^2) - (\sum X \times \sum XY)}{(n \times \sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{(n \times \sum XY) - (\sum X \times \sum Y)}{(n \times \sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (5)$$

MATLAB, grafiksel veri gösterimi, sayısal hesaplamayı içeren yüksek performanslı bir yazılım programıdır. Bu çalışmada MATLAB programı kullanılarak 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısına göre, bir karayolu üstyapı inşasında kaplama kalınlıkları ve 1 km yol uzunluğu için kaplama maliyetleri, en küçük kareler yöntemiyle korelasyon ve regresyon analizleri yapılarak bulunmuştur.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Esnek ve Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlık Hesaplama

Esnek kaplamaların dizaynı için Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberinde Eşitlik 1 kullanılmaktadır (Güngör ve Sağlık, 2008): W8,2 (8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı) 1x10<sup>7</sup>, 2x10<sup>7</sup>, 3x10<sup>7</sup>, 4x10<sup>7</sup>, 5x10<sup>7</sup>, 6x10<sup>7</sup>, 7x10<sup>7</sup>, 8x10<sup>7</sup>, 9x10<sup>7</sup> ve 10x10<sup>7</sup> değerlerine göre Eşitlik 1 (Güngör ve Sağlık, 2008) ve Eşitlik 2 (AASHTO, 1993)' e göre hesaplamalar yapılarak esnek ve rijit üstyapı kalınlıkları bulunmuş ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.**  $W_{8,2}$  Değerlerine Göre Esnek ve Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlıkları (cm)

$W_{8,2}(x10^7)$	BSK	C30/37
1	19,00	23,04
2	21,00	25,83
3	22,00	27,59
4	23,00	28,91
5	24,00	29,93
6	25,00	30,81
7	25,00	31,57
8	26,00	32,23
9	26,00	32,82
10	27,00	33,38

Hesaplanan esnek ve rijit üstyapı kalınlıklarına göre 1 km uzunluktaki üstyapı maliyet hesaplamaları yapılarak Tablo 2’de gösterilmiştir. Üstyapı maliyetleri hesaplanırken 2014 yılı birim fiyatları baz alınmıştır. Yıllık enflasyon oranları göz önüne alınarak güncel maliyetler oluşturulabilir. Tablo 1 ve Tablo 2’de belirtilen BSK, bitümlü sıcak karışımı ve C30/37 ise beton kaplama cinsini ifade etmektedir.

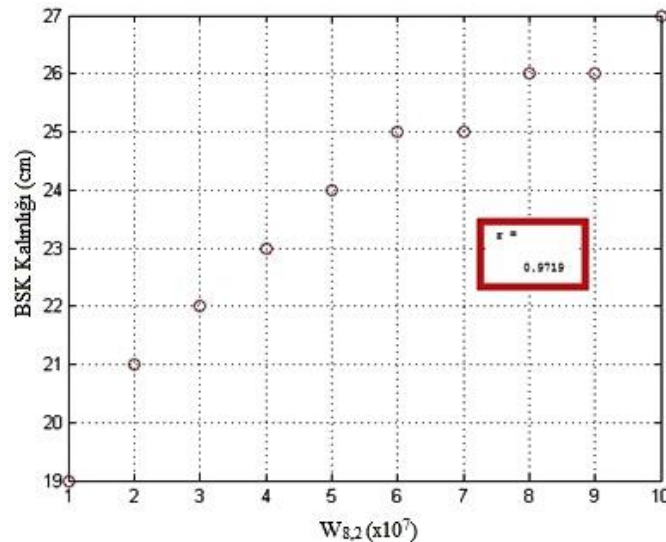
**Tablo 2.**  $W_{8,2}$  Değerlerine Göre Esnek ve Rijit Üstyapı Toplam Maliyetleri (TL)

$W_{8,2}(x10^7)$	BSK	C30/37
1	1.420.503,00	1.319.315,00
2	1.569.131,00	1.465.848,00
3	1.621.622,00	1.558.282,00
4	1.682.034,00	1.627.617,00
5	1.774.798,00	1.708.498,00
6	1.833.769,00	1.754.715,00
7	1.833.769,00	1.794.637,00
8	1.868.021,00	1.829.286,00
9	1.868.021,00	1.860.286,00
10	1.926.993,00	1.889.699,00

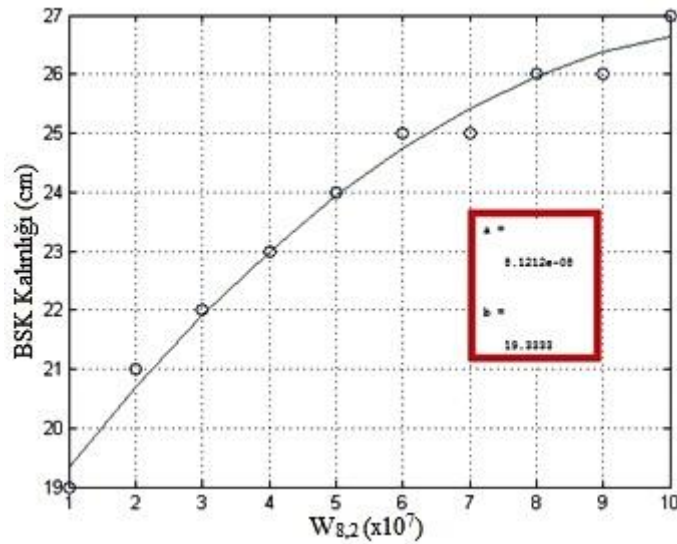
### 3.2.1. Korelasyon ve Regresyon Analizleriyle Esnek ve Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlık ve Maliyet Hesaplama

#### a. $W_{8,2}$ ile BSK kaplama kalınlığı arasındaki ilişki

Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi MATLAB programında yazılan kodlara göre hesaplanarak regresyon denklemleri elde edilmiştir.  $W_{8,2}$  ile kaplama arasındaki ilişki korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Burada  $W_{8,2}$  değerleri x bağımsız değişkenini, BSK kaplama kalınlığı ise y bağımlı değişkenidir. MATLAB’da yapılan korelasyon analizi sonucu korelasyon katsayısı ve grafiği Şekil 1’de görülmektedir.

**Şekil 1.**  $W_{8,2}$  ve BSK kaplama kalınlığı arasındaki korelasyon ilişkisi

Korelasyon değeri  $r=0,9719$  bulunmuştur. Burada pozitif korelasyon vardır ve korelasyon güçlüdür. Yani  $W_{8,2}$  ile BSK kalınlığı arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Bu aşamadan sonra regresyon analizi yapılarak MATLAB’da oluşturulan grafik Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2.  $W_{8,2}$  ve BSK kaplama kalınlığı arasındaki regresyon ilişkisi

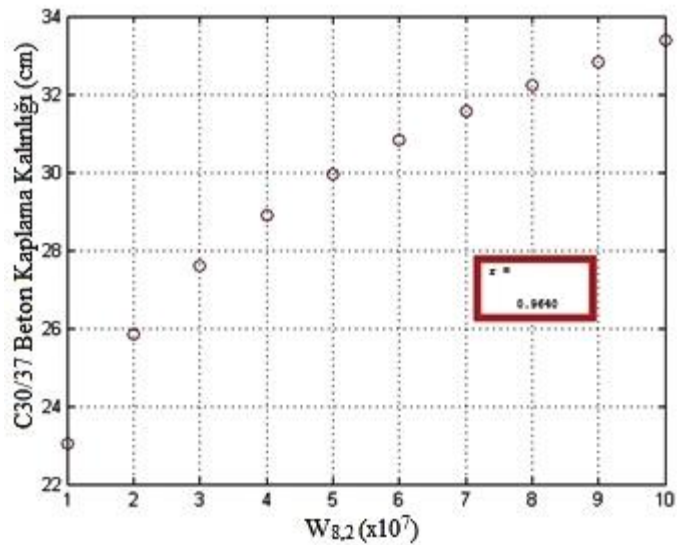
Şekil 2’de görüldüğü gibi,  $a=8,1212 \times 10^{-8}$  ve  $b=19,1313$  değerleri göz önüne alınarak  $W_{8,2}$  ile BSK kalınlığı arasındaki ilişki  $y=ax+b$  şeklinde düzenlenirse, y bağımlısı BSK kalınlığını, x bağımsız ise  $W_{8,2}$  değerini ifade eder.

Buna göre BSK kaplama kalınlığı ile  $W_{8,2}$  değeri arasındaki bağıntı Eşitlik 6’da görüldüğü gibi ifade edilebilir:

$$\text{BSK Kaplama Kalınlığı} = (8,1212 \times [10]^{(-8)} \times W_{8,2}) + 19,1313 \quad (6)$$

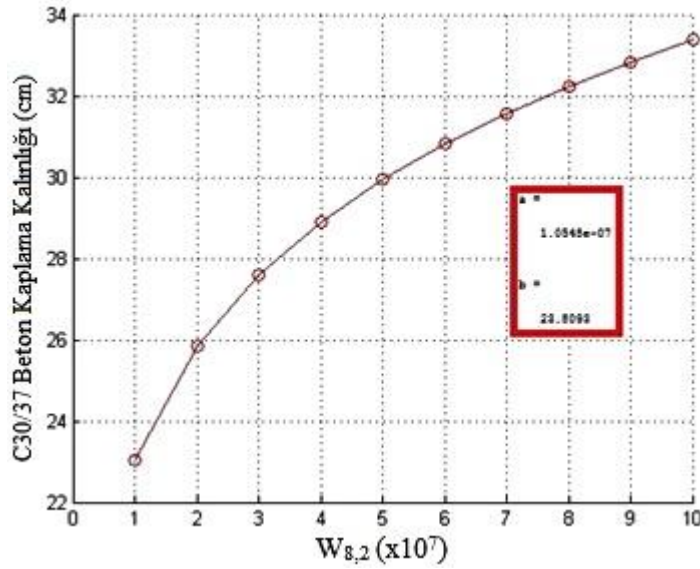
#### **b. $W_{8,2}$ ile C30/37 beton kaplama kalınlığı arasındaki ilişki**

Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi MATLAB programında yazılan kodlara göre hesaplanarak regresyon denklemleri elde edilmiştir.  $W_{8,2}$  ile kaplama arasındaki ilişki korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Burada  $W_{8,2}$  değerleri x bağımsız değişkenini, C30/37 beton kaplama kalınlığı ise y bağımlı değişkenidir. MATLAB’da yapılan korelasyon analizi sonucu korelasyon katsayısı ve grafiği Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3.  $W_{8,2}$  ve C30/37 beton kaplama kalınlığı arasındaki korelasyon ilişkisi

Şekil 3’de görüldüğü gibi, MATLAB programındaki kodlar aracılığıyla korelasyon katsayısı  $r=0,9640$  bulunmuştur. Korelasyon değeri 1’e çok yakın olduğundan pozitif güçlü korelasyon vardır. C30/37 beton kaplama kalınlığı ile  $W_{8,2}$  değeri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki  $W_{8,2}$  değerinin artmasıyla, C30/37 beton yol kaplama kalınlığının da artmakta olduğunu göstermektedir. Bu aşamadan sonra regresyon analizi yapılarak MATLAB’da oluşturulan grafik Şekil 4’de görülmektedir.



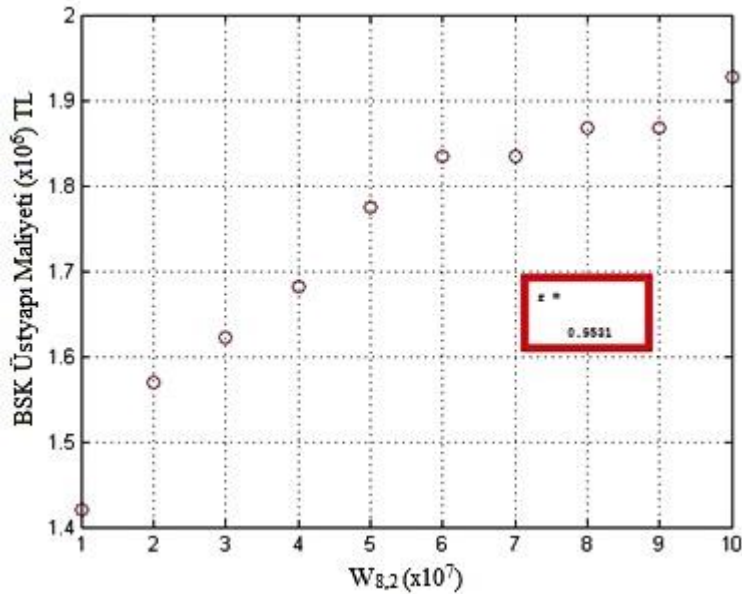
Şekil 4. W8,2 ve C30/37 beton kaplama kalınlığı arasındaki regresyon ilişkisi

Şekil 4’de görüldüğü gibi,  $a=1,0548 \times 10^{-7}$  ve  $b=23,8093$  değerleri göz önüne alınarak W8,2 ile C30/37 beton kaplama kalınlığı arasındaki ilişki  $y=ax+b$  şeklinde düzenlenirse, y bağımlısı C30/37 beton kaplama kalınlığını, x bağımsız ise W8,2 değerini ifade eder. Buna göre C30/37 beton kaplama kalınlığı ile W8,2 değeri arasındaki bağıntı Eşitlik 7’de görüldüğü gibi ifade edilebilir:

$$\text{C30/37 Kaplama Kalınlığı} = (1,0548 \times [10]^{(-7)} \times W_{8,2}) + 23,8093 \quad (7)$$

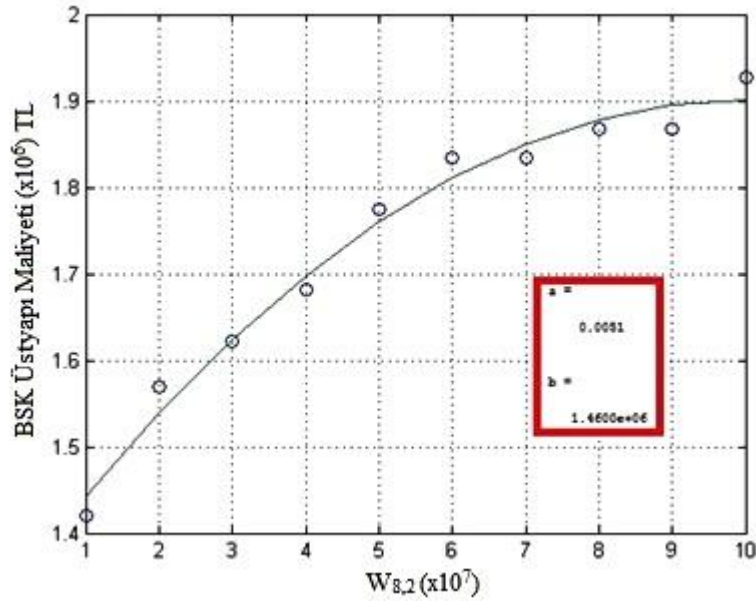
**c. W8,2 ile BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyeti arasındaki ilişki**

Burada yapılan işlemler, W8,2 değerine bağlı olarak BSK kullanılarak yapılan yol üst yapısının 1 km için maliyetleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek için yapılmıştır. Bu ilişki için Tablo 2’den alınan BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyet verileri doğrultusunda MATLAB programında yazılan kodlarla elde edilen korelasyon grafiği Şekil 5’de görülmektedir. Burada ki korelasyon işleminde W8,2 değeri x bağımsız değişkenini, BSK ile yapılan 1 km.lik üst yapının maliyeti ise y bağımlı değişkeni ifade etmektedir.



Şekil 5. W8,2 ve BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyeti arasındaki korelasyon ilişkisi

Şekil 5’de görüldüğü gibi korelasyon katsayısı  $r=0,9531$  bulunmuştur. Korelasyon değeri 1’e çok yakın bir değer olduğundan pozitif güçlü korelasyon vardır. Yani W8,2 değeri arttıkça BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyeti de artmaktadır.



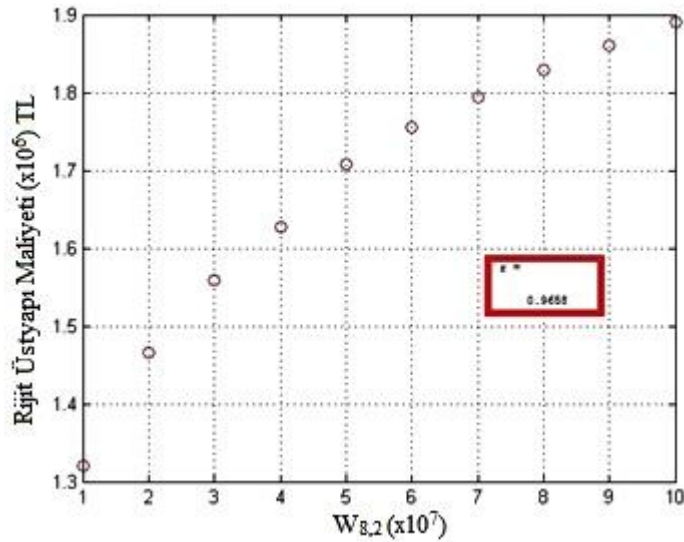
Şekil 6. W8,2 ve BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyeti arasındaki regresyon ilişkisi

Şekil 6'da görüldüğü gibi  $y=ax+b$  denkleminde  $a=0,0051$  ve  $b=1,46 \times 10^6$  değerleri regresyon analizi ile bulunmuştur. Burada  $x$  bağımsız değeri  $W_{8,2}$  değerini,  $y$  bağımsız ise BSK kullanılarak yapılan esnek bir üst yapının 1 km için maliyetini belirtmektedir.  $W_{8,2}$  değerine göre BSK kullanılarak yapılan esnek bir üst yapının 1 km için maliyeti Eşitlik 8'de gösterilmiştir:

$$\text{Esnek Üstyapı Maliyeti} = (0,0051 \times W_{8,2}) + 1,46 \times [10]^6 \quad (8)$$

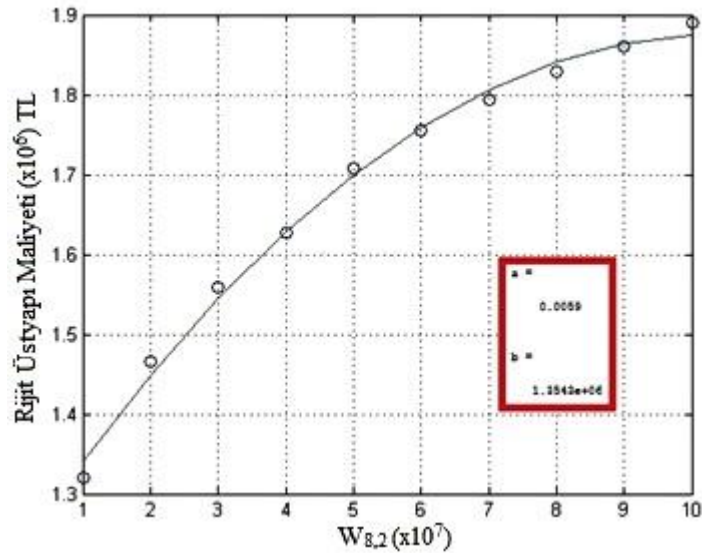
**d. W8,2 ile C30/37 beton kaplamalı rijit üstyapı maliyeti arasındaki ilişki**

Buradaki korelasyon işleminde  $W_{8,2}$  değeri  $x$  bağımsız değişkenini, C30/37 beton kaplamayla yapılan 1 km.lik rijit üstyapının maliyeti ise  $y$  bağımlı değişkeni ifade etmektedir. Tablo 2'den alınan C30/37 beton kaplamalı rijit üstyapı maliyet verileri kullanarak MATLAB programında yazılan kodlarla elde edilen korelasyon değeri ve grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. W8,2 ve 1 km uzunlukta rijit üstyapı maliyeti arasındaki korelasyon ilişkisi

Şekil 7'de görüldüğü gibi korelasyon katsayısı  $r=0,9658$  bulunmuştur. Korelasyon değeri 1'e çok yakın bir değer olduğundan pozitif güçlü korelasyon vardır. Yani  $W_{8,2}$  değeri arttıkça, yapılacak olan C30/37 beton kaplamalı rijit üstyapı maliyeti de artmaktadır.



Şekil 8. W8,2 ve rijit üstyapı maliyeti arasındaki regresyon ilişkisi

Şekil 8’de görüldüğü gibi,  $y=ax+b$  denkleminde  $a=0,0059$  ve  $b=1,3543 \times 10^6$  değerleri regresyon analizi ile bulunmuştur. Burada  $x$  bağımsız değeri  $W_{8,2}$  değerini,  $y$  bağımsız ise C30/37 beton kaplamalı rijit üstyapının 1 km için maliyetini belirtmektedir.  $W_{8,2}$  değerine göre C30/37 beton kaplamalı rijit üstyapının 1 km için maliyetini hesaplayan formül Eşitlik 9’da gösterilmiştir:

$$\text{C30/37 Beton Kaplamalı Rijit Üst Yapı Maliyeti} = (0,0059 \times W_{8,2}) + 1,3543 \times [10]^6 \quad (9)$$

## 5. TARTIŞMA

Tablo 3’de Eşitlik 1(Güngör ve Sağlık, 2008)’ deki hesaplanan değerler ile MATLAB’da bulunan Eşitlik 6’da hesaplanan esnek üstyapı BSK kaplama kalınlık değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Klasik yöntem ve MATLAB ile hesaplanan BSK kaplama kalınlıkları

W <sub>8,2</sub> (x10 <sup>7</sup> )	Eşitlik 1’e Göre Hesaplanan BSK Kaplama Kalınlığı (cm) (Klasik Hesaplama Yöntemi)	MATLAB ile Bulunan Eşitlik 6’ya Göre Hesaplanan BSK Kaplama Kalınlığı (cm)
1	19	19,9434
2	21	20,7555
3	22	21,5677
4	23	22,3798
5	24	23,1919
6	25	24,0040
7	25	24,8161
8	26	25,6283
9	26	26,4404
10	27	27.2525

Tablo 4’de Eşitlik 2 (AASHTO, 1993)’ deki hesaplanan değerler ile MATLAB’da bulunan Eşitlik 7’de hesaplanan rijit üstyapı C30/37 beton kaplama kalınlık değerleri görülmektedir.



**Tablo 4.** Klasik yöntem ve MATLAB ile hesaplanan C30/37 kaplama kalınlıkları

W8,2 (x107)	Eşitlik 2'ye Göre Hesaplanan C30/37 Beton Kaplama Kalınlığı (cm) (Klasik Hesaplama Yöntemi)	MATLAB ile Bulunan Eşitlik 6'ya Göre Hesaplanan C30/37 Kaplama Kalınlığı (cm)
1	23,04	24,8640
2	25,83	25,9188
3	27,59	26,9736
4	28,91	28,0284
5	29,93	29,0832
6	30,81	30,1380
7	31,57	31,1928
8	32,23	32,2479
9	32,82	33,3024
10	33,38	34,3572

Tablo 5'de klasik birim fiyat analizleri ile MATLAB'da bulunan Eşitlik 7'de hesaplanan BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyet değerleri görülmektedir.

**Tablo 5.** Klasik yöntem ve MATLAB ile hesaplanan BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyetleri

W8,2 (x107)	Klasik Birim Fiyat Hesaplamasıyla Bulunan BSK Kaplamalı Esnek Üstyapı Maliyetleri (TL)	MATLAB ile Bulunan BSK Kaplamalı Esnek Üstyapı Maliyetleri (TL)
1	1.420.503,00	1.511.000,00
2	1.569.131,00	1.562.000,00
3	1.621.622,00	1.613.000,00
4	1.682.034,00	1.664.000,00
5	1.774.798,00	1.715.000,00
6	1.833.769,00	1.766.000,00
7	1.833.769,00	1.817.000,00
8	1.868.021,00	1.868.000,00
9	1.868.021,00	1.919.000,00
10	1.926.993,00	1.970.000,00

Tablo 6'da klasik birim fiyat analizleri ile MATLAB'da bulunan Eşitlik 8'de hesaplanan C30/37 beton kaplamalı rijit üstyapı maliyet değerleri görülmektedir.

**Tablo 6.** Klasik yöntem ve MATLAB ile hesaplanan C30/37 kaplamalı rijit üstyapı maliyetleri

W8,2 (x107)	Klasik Birim Fiyat Hesaplamasıyla Bulunan C30/37 Beton Kaplamalı Rijit Üstyapı Maliyetleri (TL)	MATLAB ile Bulunan C30/37 Beton Kaplamalı Rijit Üstyapı Maliyetleri (TL)
1	1.319.315,00	1.413.300,00
2	1.465.848,00	1.472.300,00
3	1.558.282,00	1.531.300,00
4	1.627.617,00	1.590.300,00
5	1.708.498,00	1.649.300,00
6	1.754.715,00	1.708.300,00
7	1.794.637,00	1.767.300,00
8	1.829.286,00	1.826.300,00
9	1.860.286,00	1.885.300,00
10	1.889.699,00	1.944.300,00

Üstyapı maliyetleri hesaplanırken 2014 yılı birim fiyatları baz alınmıştır. Yıllık enflasyon oranları göz önüne alınarak güncel maliyetler oluşturulabilir. Üstyapı kaplama kalınlıkları hesaplaması ise sabittir, herhangi bir güncellemeye gerek bulunmamaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Çalışma sonucunda MATLAB programından yararlanarak kaplama kalınlığının ve 1 km yol üst yapısı için maliyetin W8,2 değeriyle ilişkisi korelasyonla ortaya konulup, regresyon analizleri sonucunda yeni formüller elde edilmiştir. MATLAB ile bulunan yeni formüller ile klasik olarak hesaplanan sonuçlar karşılaştırıldığında; sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yeni yaklaşım formülleri ile klasik hesaplamalarla uzun işlemler yapmak yerine, daha basit bir şekilde yaklaşık sonuçlar bulunabilir. Elde edilen formüller ile üstyapı kaplama kalınlıkları ve üstyapı maliyetleri pratik bir şekilde yaklaşık olarak hesaplanabilir.

### Nomenclature

T8.2	: Pt' ye erişinceye kadar tekerrür edecek standart dingil (8,2 ton) sayısı
$P_t$	: Son servis kabiliyeti
$Z_R$	: Standart normal sapma
$S_o$	: Toplam standart sapma
SN	: Üstyapı sayısı (inç)
$M_R$	: Esneklik Modülü (psi)
W8,2	: 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı
ZR	: Standart normal sapma
$S_o$	: Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası
D	: Rijit plak kalınlığı, inç
$\Delta PSI$	: $P_o$ - $P_t$ (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)
$P_o$	: Başlangıç servis kabiliyeti indeksi
$P_t$	: Nihai servis kabiliyeti indeksi
$S_c'$	: Betonun Kopma Modülü (Eğilmeye çekme mukavemeti), psi
J	: Yük transfer katsayısı
Cd	: Drenaj katsayısı
$E_c$	: Betonun Elastisite Modülü, psi
k	: Yatak katsayısı, psi

## REFERENCES

- AASHTO, 1993. Guide for the Design of Pavement Structures. Washington, USA.
- Ağar, E., Öztaş, G., Süttaş, İ. 1998. Beton Yollar. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Bakış, A. 2015. "Rijit Yol Üstyapı İnşasında Reaktif Pudra Betonun (RPB) Kullanılabilirliğinin Araştırılması". Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bayrak, O.Ü. 2007. "Rijit üstyapı tasarımına yeni bir yaklaşım". Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1s.
- Güngör, A. G., Sağlık, A. 2008. Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberi. Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Kul, S. "Korelasyon Analizi". Danışmanlık Konuları. <http://www.p005.net/analiz/korelasyon-analizi> Erişim tarihi: 1 Haziran 2017.
- Karacabey, A., Gökgöz, F. 2012. "Korelasyon ve Tekli Regresyon Analizi-En Küçük Kareler Yöntemi". <http://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=43>, Erişim Tarihi: 01.06.2017
- Tunç A, 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. 2.Baskı, Ankara, 840s.
- Uçar, S. 2002. "Yol Üstyapıları Yapım Maliyetleri Araştırması". Ulusal Beton Yollar Kongresi, Ankara.