



## ESNEK VE RİJİT ÜSTYAPILARIN GERİLME İLE DEPLASMAN DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Hande VAROL MOROVA<sup>\*1</sup>, Ali Ekber SEVER<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

### Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 10.03.2023  
Kabul Tarihi: 12.06.2023  
Yayın tarihi: 29.06.2023

### ÖZET

Taşıt kaplama etkileşimi, kaplama tepkisinin doğru tahmin edilebilmesi için oldukça önemlidir. Dünyanın birçok bölgesinde rijit ve esnek üstyapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama, temel ve alt temel gibi kaplama tabakalarının tasarımında gerilme ve yer değiştirme gibi bazı dış etkenler büyük rol oynamaktadır. Günümüzde bilgisayar destekli yazılımların yüksek analiz yetenekleri sayesinde karmaşık problemler kolaylıkla simüle edilebilmekte ve çözülebilmektedir. Bu çalışmada esnek ve rijit olmak üzere iki farklı üstyapı modeli bilgisayar programında oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modellerin gerilme ve yer değiştirme değerleri kıyaslanmıştır. Gerilme değerlerine bakıldığında esnek kaplamalarda rijit kaplamalara nazaran daha düşük gerilmeler oluşmuştur. Düşey yer değiştirmeler karşılaştırıldığında ise esnek üstyapının yer değiştirmesi daha yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler;

Esnek üstyapı, trafik yükü, rijit üstyapı, sonlu eleman

## COMPARISON OF STRESS AND DISPLACEMENT VALUES OF FLEXIBLE AND RIGID PAVEMENT

### Article Info

Received: 10.03.2023  
Accepted: 12.06.2023  
Published: 29.06.2023

### ABSTRACT

Vehicle pavement interaction is very important for accurate estimation of pavement response. Rigid and flexible pavements are widely used in many parts of the world. Some external factors such as stress and displacement play a major role in the design of pavement layers such as pavement, foundation and sub-base. Today, complex problems can be simulated and solved easily thanks to the high analysis capabilities of computer-aided software. In this study, two different superstructure models, flexible and rigid, were created in a computer program. The stress and displacement values of these models were compared. Considering the stress values, lower stresses occurred in flexible pavements compared to rigid pavements. When the vertical displacements are compared, the displacement of the flexible pavement was found to be higher.

Keywords;

Flexible pavement, traffic load, rigid pavement, finite element

### 1. Giriş

Günümüzde esnek ve rijit kaplamalar yol yapımında en çok tercih edilen kaplama türleridir. Bu iki kaplama türünün de kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Karayolu tasarlanırken trafik yoğunluğu, çevre koşulları,

ekonomi ve hizmet ömrü gibi durumlar göz önünde bulundurularak kaplama türleri arasında seçim yapılmalıdır. Kaplama tabakasında meydana gelen basınç ve çekme gerilmeleri tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına sebep olabilmektedir (Walubita ve Van de Ven, 2000). Gerilmelerin ve yer değiştirmelerin belirlenmesi, kaplama tipinin seçimi ve tasarımında

önemli bir rol oynamaktadır. Üstyapı tasarımının temel amacı, karayolu üstyapısında büyük deformasyonlar ve çatlaklar oluşmadan trafik yüklerini güvenle taşıyabilecek tabaka kalınlıklarının belirlenmesidir (Ağar vd., 1998).

Ampirik yöntemlerin yanında mekanistik olarak yol tasarımı ve dizaynının desteklenmesiyle daha sağlıklı sonuçların alınabileceği tahmin edilmektedir. Özellikle son on yıldır bu yönde çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Mekanistik tasarım için literatürde kabul gören; sayısal yöntemler, sonlu elemanlar yöntemidir (Özcan ve Akpınar, 2014).

Çelik (2014) yaptığı çalışmada, esnek ve rijit üstyapılardan alınan numuneleri laboratuvarında test etmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle esnek üstyapı malzeme modelini oluşturmuştur.

Gevrek (2008), esnek kaplamalar üzerindeki gerilme dağılımlarını iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile analiz etmiştir.

Shoukry vd. (2004), donatılı rijit kaplamada sonlu elemanlar metodu ile trafik yükü ve sıcaklık faktörlerinin donatı etrafında oluşan gerilmeler üzerindeki etkilerini analiz etmiştir.

Taghipoor vd. (2020), cam atık içeren asfalt karışımların yorulma davranışını modellemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır.

Bu çalışmada kaplama türünün, yol üstyapısında oluşan gerilme ve yer değiştirme değerleri üzerindeki etkileri ANSYS bilgisayar programı yardımıyla incelenmiştir. Bu amaçla ANSYS V.19 (ANSYS, 2019) bilgisayar programında esnek ve rijit olmak üzere iki farklı üstyapıya sahip sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sonlu eleman modellerinin trafik yükü altındaki gerilme ve yer değiştirme davranışları karşılaştırılmıştır.

## 2. Üstyapı Modelinin Oluşturulması

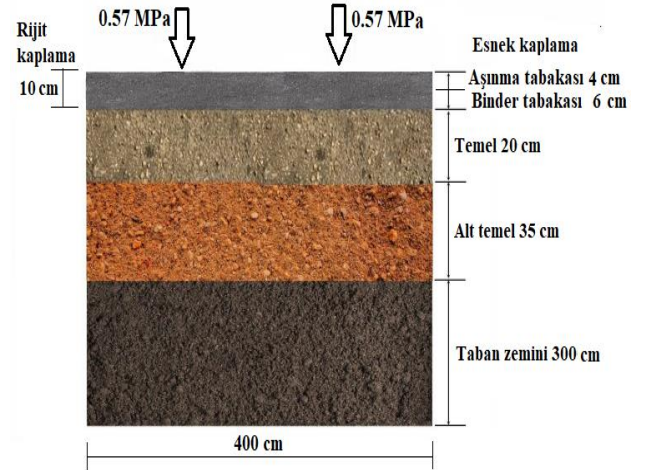
Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislikteki çeşitli problemlere yaklaşık çözümler elde etmek için uygulanabilen sayısal bir prosedürdür. Bu prosedür statik yüklemeye maruz kalan karmaşık kaplama yapılarına da uygulanabilir. Bu amaçla örnek bir esnek üstyapı ve rijit üstyapı sistemi ANSYS bilgisayar programında modellenmiş ve gerilme ile deplasman değerleri elde edilmiştir. Üstyapıların

modellemesinde kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Malzeme özellikleri literatürde yapılan çalışmalardan elde edilmiştir (Al-Azzavi, 2012). Rijit kaplama için C25 dayanım sınıflı beton kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Malzeme özellikleri

Tabaka	Derinlik (cm)	Elastisite Modülü (Mpa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Rijit kaplama	10	30000	0.18	2450
Aşınma tab.	4	2600	0.35	2280
Binder tab.	6	2200	0.35	2280
Temel	20	1650	0.35	2330
Alt temel	35	110	0.4	2350
Taban zemini	300	30	0.49	1800

Şekil 1'de, modellenen üstyapılara ait en kesit görüntüsü ve yükleme durumu gösterilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü üzere rijit kaplama 10 cm kalınlığındadır. Esnek kaplama ise aşınma ve binder tabakalarından oluşmakta ve toplamda 10 cm kalınlığındadır.

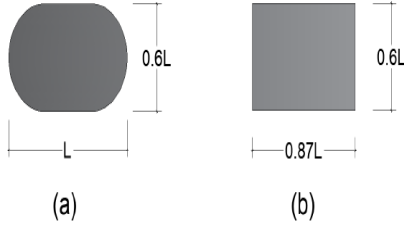


**Şekil 1.** Rijit ve esnek üstyapı en kesiti

Bir sonlu eleman modelinde hareketli araç yükünün gerçek temsili karmaşıktır. Taşıtların kaplamaya uyguladıkları gerilmeler üniform değildir ve lastik konstrüksiyonuna, lastik yüküne ve lastik şişirme basıncına bağlıdır (Beer, 1996). Hareket eden aracı simüle etmek için, gerilme dağılımının düzgün ve dikdörtgen olduğu kabul edilir, bu da hesaplamada basitleştirmeye sonuçlanır. Lastik ayak izi, sırasıyla 0,87L ve 0,6L uzunluğunda ve genişliğinde bir dikdörtgen eşdeğer alana (Şekil 2) dönüştürülür. Ayrıca tekerlek yükü, aracın dingil konfigürasyonuna ve tekerlek konfigürasyonuna bağlı olarak değişir. Sayısal modellemeyi kolaylaştırmak için lastik-kaplama temas gerilmesi

lastiğin şişirme basıncına eşit olduğu varsayılır ve lastik-kaplama temas yüzeyinin tüm lastikler için aynı olduğu varsayılır.

Tablo 2’de modellemede kullanılan ana yükleme parametrelerinin değerleri listelenmiştir. Tekerlek yükü ve lastik-kaplama temas alanı, Dor (2014) tarafından çift tekerlekli tek dingil için önerilen 80 kN’lık standart dingil yüküne ve 0,56 MPa’lık temas gerilimine göre hesaplanmıştır.



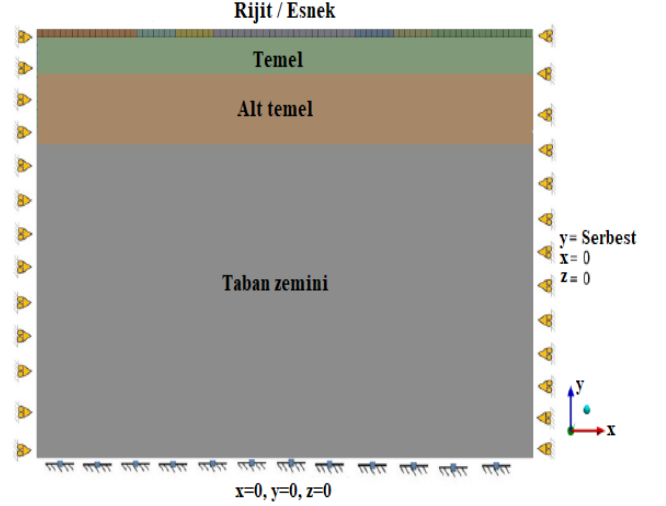
Şekil 2. (a) Eliptik (b) eş değer dikdörtgen lastik ayak izi

Tablo 2. Araç yükünün belirlenmesinde kullanılan parametreler

Parametre	Değer
Tekerleklerle gelen yük (KN)	40
Lastik basıncı (MPa)	0.56
Lastik ile kaplamanın temas alanı (mm <sup>2</sup> )	71428.6
Eş değer alanın uzunluğu (mm)	321.8
Eş değer alanın genişliği (mm)	221.9

Sonlu elemanlar modellemesi için, her bir lastiğin ayak izinin eşdeğer uzunluğu ve genişliği sırasıyla 32 cm ve 22 cm olarak alınmış ve 0.57 MPa’lık üniform basınç gerilmesi bu alana uygulanmıştır.

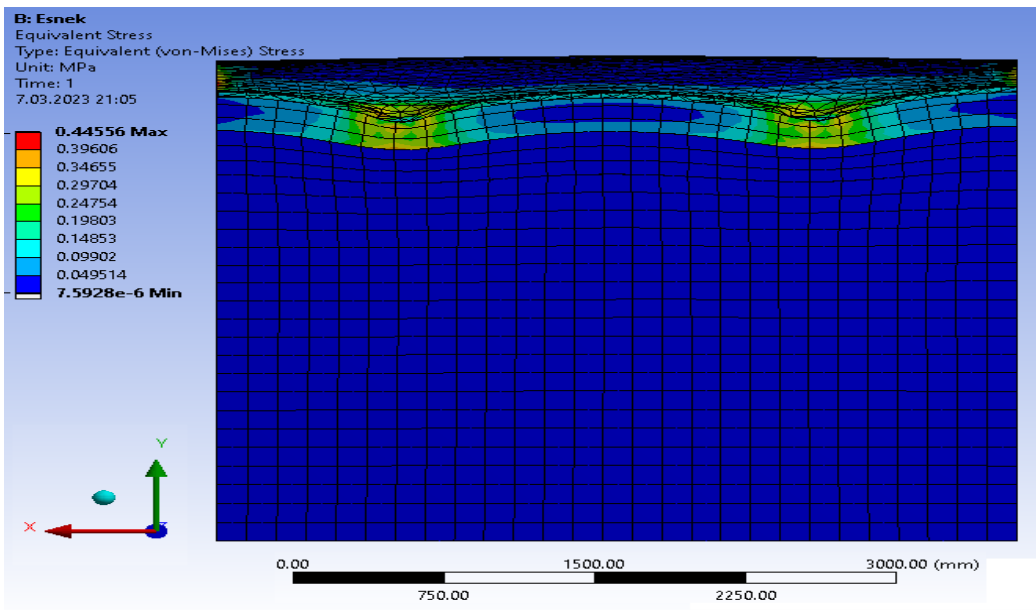
Rijit ve esnek üstyapı modelinin sınır koşulları olarak taban zemini altında hem yanal hem de düşey hareketlere izin verilmemiştir. Modelin yan kenarlarında ise sadece düşey hareketlere izin verilmiştir. Kısaca modelin tabanı ankastre mesnet olarak tanımlanmış ve Şekil 3’te görüldüğü gibi yan yüzeylerde hareketli mesnet kullanılmıştır.



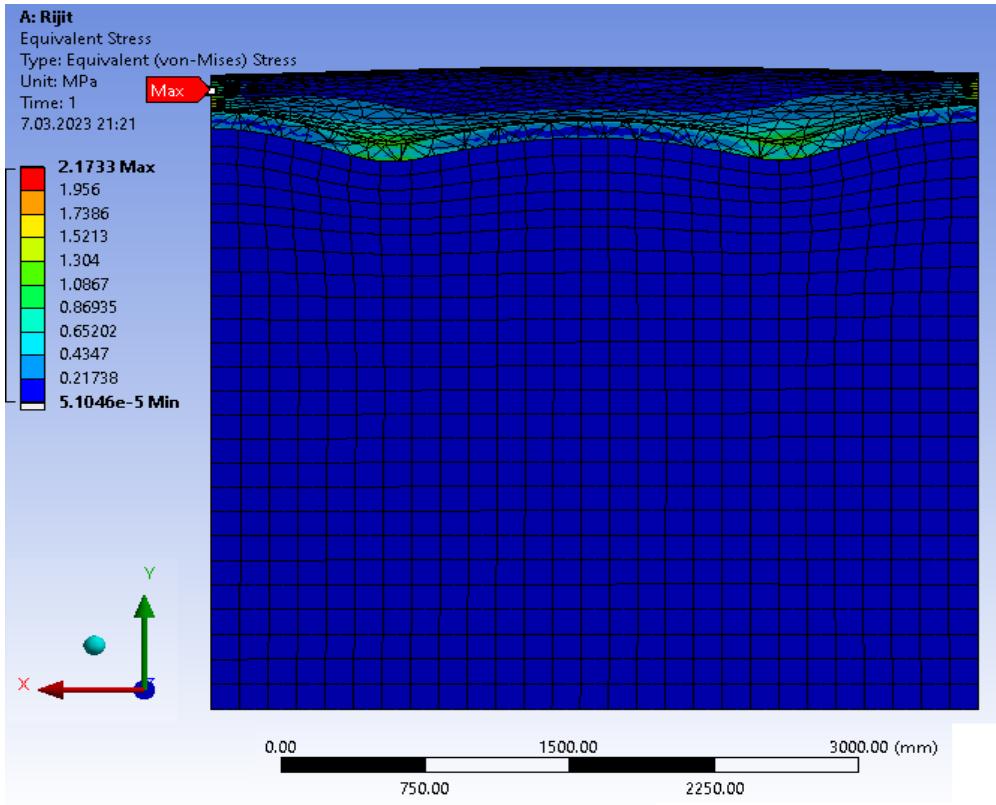
Şekil 3. Sonlu elemanlar modeli sınır koşulları

### 3. Bulgular ve Tartışma

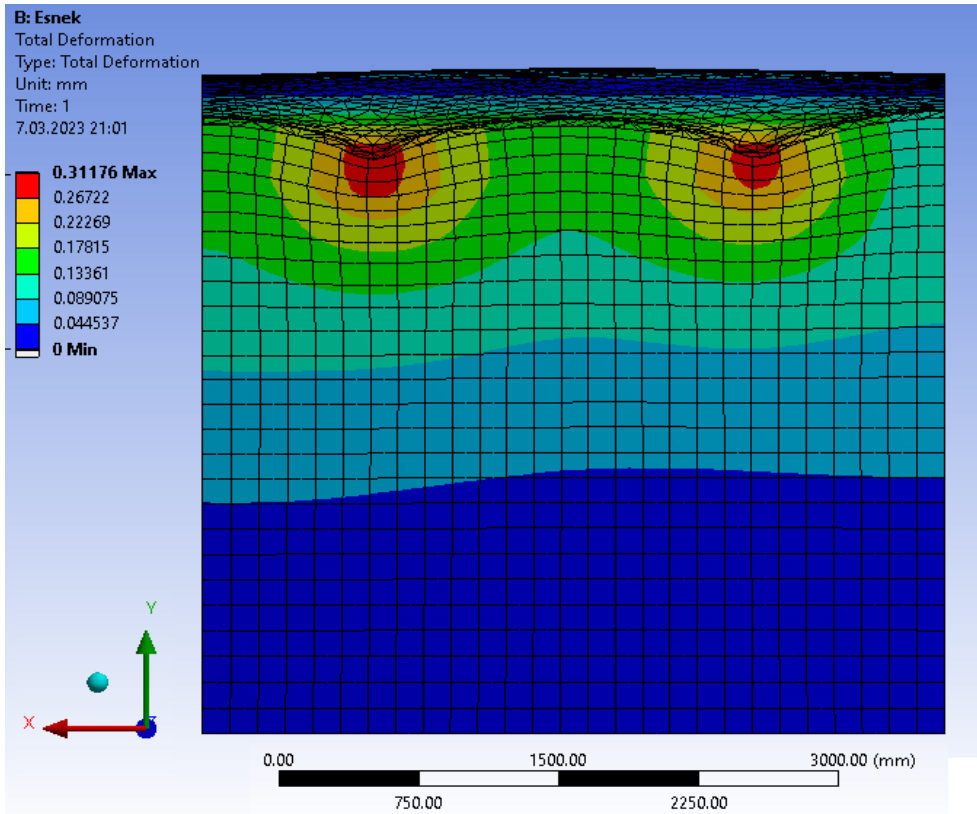
Bu çalışmada, aynı tabaka kalınlığına sahip esnek ve rijit kaplamaların sehim ve gerilme dağılımları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Şekil 3’te esnek üstyapıda eşdeğer gerilme dağılımı, Şekil 4’te ise rijit üstyapıda eşdeğer gerilme dağılımı gösterilmektedir. Esnek kaplamanın yer değiştirme değerleri Şekil 5’te, rijit kaplama modelindeki yer değiştirme değerleri ise Şekil 6’da gösterilmiştir.



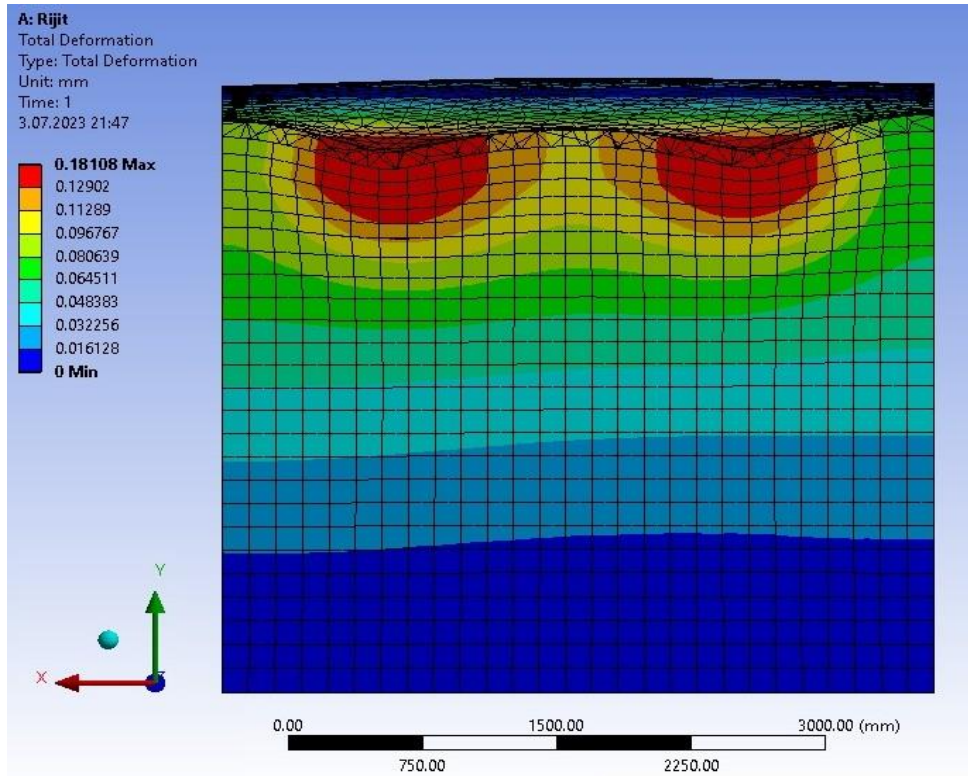
Şekil 3. Esnek kaplama modelinde eşdeğer gerilme dağılımı



Şekil 4. Rijit kaplama modelinde eşdeğer gerilme dağılımı



Şekil 5. Esnek kaplama modeli için yer değiştirmeler



**Şekil 6.** Rijit kaplama modeli için yer değiştirmeler

Şekil 3, esnek üstyapı modelindeki eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. 4 cm aşınma tabakası ve 6 cm binder tabakasından oluşan esnek kaplamada en yüksek eşdeğer gerilme değeri 0.45 MPa olarak elde edilmiştir.

Şekil 4'te, rijit kaplama için hesaplanan eşdeğer gerilme değerleri gösterilmiştir. Rijit kaplamanın eşdeğer gerilme değeri yapılan analiz sonucunda 2.17 MPa olarak bulunmuştur.

Analiz sonucunda oluşan sehimler incelendiğinde, her iki kaplama modelinde de maksimum yer değiştirme, tekerlek yükünün etkidiği noktanın hemen altında meydana gelmektedir. Aynı yük ve tabaka kalınlığı dikkate alındığında esnek üstyapılarda oluşan yer değiştirmelerin rijit üstyapılara göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

100 mm kaplama kalınlığına sahip esnek kaplamada en büyük düşey yer değiştirme 0.31 mm olurken, aynı tabaka kalınlığına sahip rijit kaplama modelinde ise en büyük düşey yer değiştirme 0.18 mm olarak elde edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada aynı dingil yükü altında farklı kaplama tabakalarına sahip esnek ve rijit kaplama

modellerinin karşılaştırmalı analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki üstyapı modelinde de maksimum eşdeğer gerilmelerin ve en büyük düşey yer değiştirmelerin tekerlek ve kaplama tabakası temas alanında elde edildiği belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda esnek kaplamaya sahip üstyapı modelinde oluşan en büyük yer değiştirmenin rijit kaplamaya sahip üstyapı modelinde oluşan en büyük yer değiştirmeye göre %72 daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı zamanda rijit kaplamaya sahip üst yapı modelinde maksimum eşdeğer gerilme değeri esnek kaplamaya sahip üst yapı modelinde oluşan gerilme değerinin 3.8 katı daha yüksek elde edilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu ile çok kısa sürede, laboratuvar çalışmasına gerek kalmadan üstyapı tasarımının yapılması ve uygun malzeme özelliğinin tespiti mümkün olmaktadır. Çalışmanın farklı tabaka kalınlıkları ve farklı malzeme özellikleriyle analiz edilerek desteklenmesi literatüre katkı sağlayacaktır.

#### 5. Kaynaklar

Ağar, E., Öztaş, G., Sütaş, I., 1998. Beton yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

- Al-Azzawi A.A, 2012. Finite Element Analysis of Flexible Pavements Strengthened with Geogrid, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(10), 1295-1299.
- ANSYS Workbench Release, v.19.0., 2019. ANSYS Inc. Canonsburg. Pennsylvania.
- Beer, M.D., 1996. Measurement of Tyre/Pavement Interface Stresses Under Moving Wheel Loads. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 3(1-4), 97-115.
- Çelik, M., 2014. Karadeniz Bölgesi Köy Yolları İçin Rijit ve Esnek Kaplamanın Mekanistik ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s., Trabzon.
- DOR, 2014. Pavement Design Guidelines (Flexible Pavement), Tech. Rep.
- Gevrek, L., 2008. Yol Katmanlarında Meydana Gelen Gerilme Dağılımının ANSYS Bilgisayar Programı ile Nonlineer Sonlu Eleman Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s., Afyon.
- Özcanan, S., Akpınar, M.V., 2014. Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigürasyonların Mekanistik Analizlere Göre Tespit Edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 25, (121) 6625-6654.
- Shoukry, S. N., William, G.W., Riad, M., 2004. Application of LS-DYNA in Identifying Critical Stresses Around Dowel Bars. 8<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, Detroit, USA, 45-52.
- Taghipoor, M., Tahami, A., Forsat, M., 2020. Numerical and Laboratory Investigation of Fatigue Prediction Models of Asphalt Containing Glass Wastes. *International Journal of Fatigue*, 140, 105819.
- Walubita, L.F., Van de Ven, M.F., 2000. Stresses and Strains in Asphalt-Surfacing Pavements. South African Transport Conference, 17–20 July, South Africa.