

# Farklı Kalınlıklardaki Esnek ve Rijit Üstyapıların Gerilme-Deformasyon Performanslarının İncelenmesi

Hande Varol MOROVA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3481-9925), [handevarol@isparta.edu.tr](mailto:handevarol@isparta.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 07.06.2023 ve Kabul Tarihi 13.07.2023)

(DOI: 10.35354/tbed.1311017)

**ATIF/REFERENCE:** Morova, H..V, (2023). Farklı Kalınlıklardaki Esnek ve Rijit Üstyapıların Gerilme-Deformasyon Performanslarının İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (2), 36-41.

## Öz

Türkiye’de ve dünyada yük- yolcu taşımacılığı çoğunlukla karayolu ulaşımı ile sağlanmakta olup üstyapı tipi olarak esnek ve rijit üstyapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Üstyapının iyi tasarlanması uzun yıllar trafik yükü altında bozulmadan kalabilmesini sağlamaktadır. Kaplama, temel ve alt temel gibi üstyapı tabakalarının tasarımında gerilmeler ve yer değiştirmeler büyük rol oynamaktadır. Üstyapı tasarımının karmaşıklığı araştırmacıları bilgisayar destekli yazılımlara yöneltmiş ve bu sayede karmaşık problemler kolaylıkla simüle edilebilir ve çözülebilir olmuştur.

Bu çalışmada, farklı kaplama tabakası kalınlıklarına (90 mm, 120 mm ve 150 mm) sahip rijit ve esnek üstyapılar sonlu elemanlar metodu kullanılarak ANSYS programında modellenmiş ve trafik yükleri altındaki yer değiştirme ve gerilme dağılımları incelenmiştir. Gerilme dağılımı sonuçlarına göre, esnek üstyapıların gerilim değerleri, rijit üstyapıların gerilim değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Esnek kaplamalardaki yer değiştirme ise, rijit kaplamalardaki yer değiştirmeden daha fazla elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Esnek üstyapı, Rijit üstyapı, Sonlu eleman, Trafik yükü, ANSYS.

## Investigation of Stress-Deformation Performances of Flexible and Rigid Pavements of Different Thicknesses

### Abstract

In Turkey and in the world, freight-passenger transportation is mostly provided by road transportation, and flexible and rigid superstructures are widely used as the superstructure type. Good design of the superstructure ensures that it can remain intact under the traffic load for many years. Stress and displacements play a major role in the design of pavement layers such as pavement, foundation and sub-base. The complexity of the pavement design has led researchers to computer-aided software, so that complex problems can be easily simulated and solved.

In this study, rigid and flexible pavements with different pavement layer thicknesses (90 mm, 120 mm and 150 mm) were modeled in the ANSYS program using the finite element method and their displacement and stress distributions under traffic loads were investigated. According to the stress distribution results, the stress values of flexible pavements were lower than the stress values of rigid pavements. The displacement in flexible pavements was more than the displacement in rigid pavements.

**Keywords:** Flexible pavement, Rigid pavement, Finite element, Traffic load, ANSYS.

## 1. Giriş

Karayolu ile ulaşım dünyada çok tercih edilen ulaşım türüdür. Yük taşımacılığı da büyük ölçüde karayolu ile yapıldığı için üstyapıda zaman zaman bozulmalar meydana gelmektedir.

Yol üstyapısında oluşan bozulmaların sebeplerini öğrenerek önceden müdahale etmek veya çözümler üretmek için birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Ancak deneysel çalışmalarda çeşitli uygulama zorluklarıyla karşılaşılması bu durumu zor bir hale getirmiştir. Yol tasarımında malzeme özellikleri, çevre koşulları, uygulama ve bakım şartları, trafik yükü gibi birçok değişken mevcuttur. Bu değişkenleri birebir laboratuvar ortamında uygulamak oldukça güçtür. Bu sebeple deneysel veriler ışığında bilgisayar programları kullanılarak modellenmesi göz önünde bulundurulmuş bir seçenektir [1].

Tekerlek izinin modellenmesi üzerine bilgisayar yazılımları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde kabul gören, sayısal yöntemler sonlu elemanlar yöntemidir [2].

Özcanan ve Akpınar (2014), çalışmasında, arazide ağır dingil yüküne sahip araçlardan elde edilen verilerden, taşıtların tekerlek ve aks konfigürasyonlarını üç boyutlu şekilde sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellemiştir. Çalışma sonucunda geniş yüzeyli ve tekil tekerleklerin yorulma çatlağı ve tekerlek izi hasarı açısından en çok hasar verebilecek potansiyelde olduğu belirlenmiştir [2].

Ziaria vd. (2019), çalışmasında çok katmanlı bir asfalt kaplamada, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya çatlakların yorulma ömrü, çatlak büyüme yörüngesi ve gerilme yoğunluk faktörleri sayısal yöntem kullanılarak incelemiştir [3].

Topçuoğlu (2016), çalışmasında farklı elastisite modüllerine sahip, değişik sıcaklıklarda, farklı yük miktarları ve yük tekrarlarında esnek üstyapının nasıl davrandığını incelemiştir [1]. Banerji vd. (2017), tarafından statik ve dinamik yüklemeye dayalı araç-kaplama etkileşiminin sonlu elemanlar analizi yapılmıştır [4]. Serin vd. (2021) çalışmasında esnek ve rijit kaplamaların belirli bir yük altındaki gerilme ve yer değiştirme davranışlarını incelemiştir [5].

Ban vd. (2021), çalışmasında esnek kaplamanın statik araç yükü altındaki üç boyutlu elastik analizini sonlu elemanlar metoduyla incelemiştir [6].

Bu çalışmada, farklı tabaka kalınlıklarının esnek ve rijit kaplamaların gerilme ve yer değiştirme davranışlarına etkisi ANSYS V.19 yardımıyla sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelenmiş ve üstyapı modellerinin üç boyutlu (3D) analizleri gerçekleştirilmiştir [7].

## 2. Üstyapının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık mühendislik problemlerine yaklaşık çözümler arayan sayısal bir methodur. Sonlu elemanlar yöntemi daha çok "parçadan bütüne gitme" genel prensibine dayanmaktadır [8]. Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesi çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme giderken, sonlu elemanların üzerinde çeşitli teoriler üretilerek, sınır koşul ve denge denklemlerinin tanımlanması ile yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır [9]. Bu prosedür statik yüklemeye maruz kalmış üstyapıya da

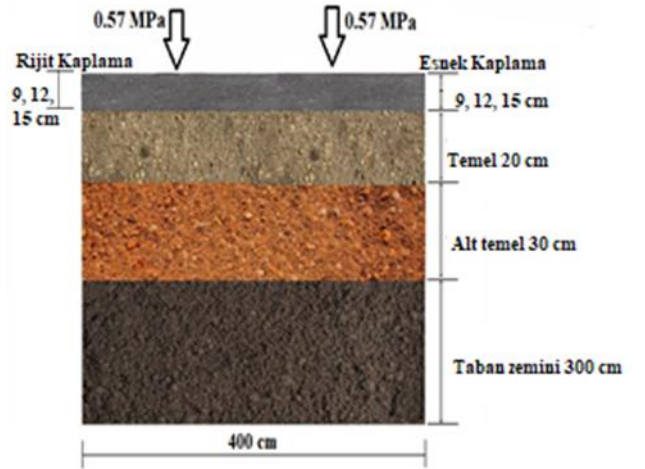
uygulanabilmektedir. Sonlu elemanlar metodunda en çok tercih edilen yazılımlardan biri ANSYS programıdır.

Bu çalışmada da esnek ve rijit üstyapı ANSYS programında modellenmiş ve gerilme ile yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Üstyapılar modellenirken kullanılan malzeme özellikleri literatür çalışmalarından elde edilmiş olup, Tablo 1'de gösterilmiştir [3, 5]. Rijit kaplama için C25 dayanım sınıfına ait beton seçilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri [3, 5]

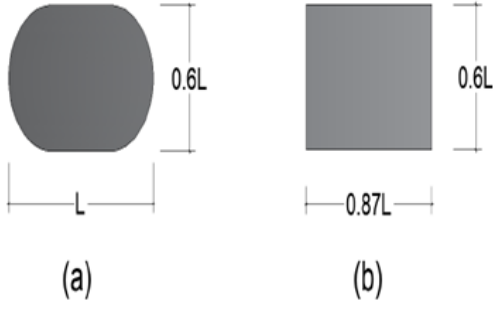
Tabaka	Derinlik (cm)	Elastisite Modülü (Mpa)	Poisson Oranı
Rijit kap.	9,12,15	30000	0.18
Esnek kap.	9,12,15	4000	0.35
Temel	20	200	0.35
Alt temel	35	60	0.35
Taban zemini	300	34.5	0.45

Şekil 1'de, modellenen üstyapılara ait enkesit görüntüsü ve yükleme durumu gösterilmektedir. Taban zemini, alt temel ve temel tabakaları sabit kalırken esnek ve rijit kaplamalar sırasıyla 9, 12, ve 15 cm kalınlıklarında modellenmiştir.



Şekil 1. Rijit ve esnek üstyapı enkesiti

Bir sonlu eleman modelinde hareketli araç yükünün temsili karmaşıktır. Taşıtların kaplamaya uyguladıkları gerilmeler uniform değildir. Gerilme, lastik basıncına, lastik yüküne ve lastik konstrüksiyonuna bağlıdır [10]. Hareket eden aracı simule edebilmek için gerilme dağılımı düzgün ve dikdörtgen kabul edilir, bu da hesabın basitleştirilmesiyle sonuçlanır. Lastik ayak izi sırasıyla 0.87L ve 0.6L kenar uzunluklarında, Şekil 2'de gösterilen bir dikdörtgen eşdeğer alana dönüştürülür. Aynı zamanda tekerlek yükü, aracın dingil konfigürasyonuna ve tekerlek konfigürasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Sayısal modellemeyi kolaylaştırmak adına lastik-kaplama temas gerilmesinin lastiğin şişirme basıncına eşit olduğu varsayılır ve lastik-kaplama temas yüzeyinin tüm lastikler için aynı olduğu kabul edilir.



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

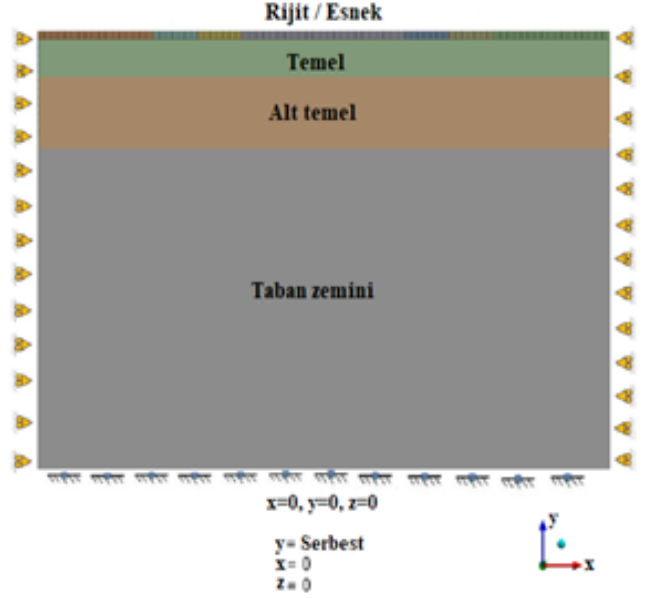
Tablo 2’de modellemede kullanılan ana yükleme parametrelerinin değerleri listelenmiştir. Tekerlek yükü ve lastik-kaplama temas alanı, Dor (2014) tarafından çift tekerlekli tek dingil için önerilen 80 kN’lık standart dingil yüküne ve 0,56 MPa’lık temas gerilimine göre hesaplanmıştır [11].

Tablo 2. Araç yükünün belirlenmesinde kullanılan parametreler [11]

Parametre	Değer
Tekerleklere 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 modeli için taban zemini altında hem yanal hem de düşey hareketlere izin verilmeyecek şekilde sınır koşullar belirlenmiştir. Modelin yan kenarlarında ise sadece dikey hareketlere izin verilmektedir. Kısaca modelin tabanı sabit mesnet olarak tanımlanmış ve Şekil 3’te görüldüğü gibi yan yüzeylerde hareketli mesnet kullanılmıştır.



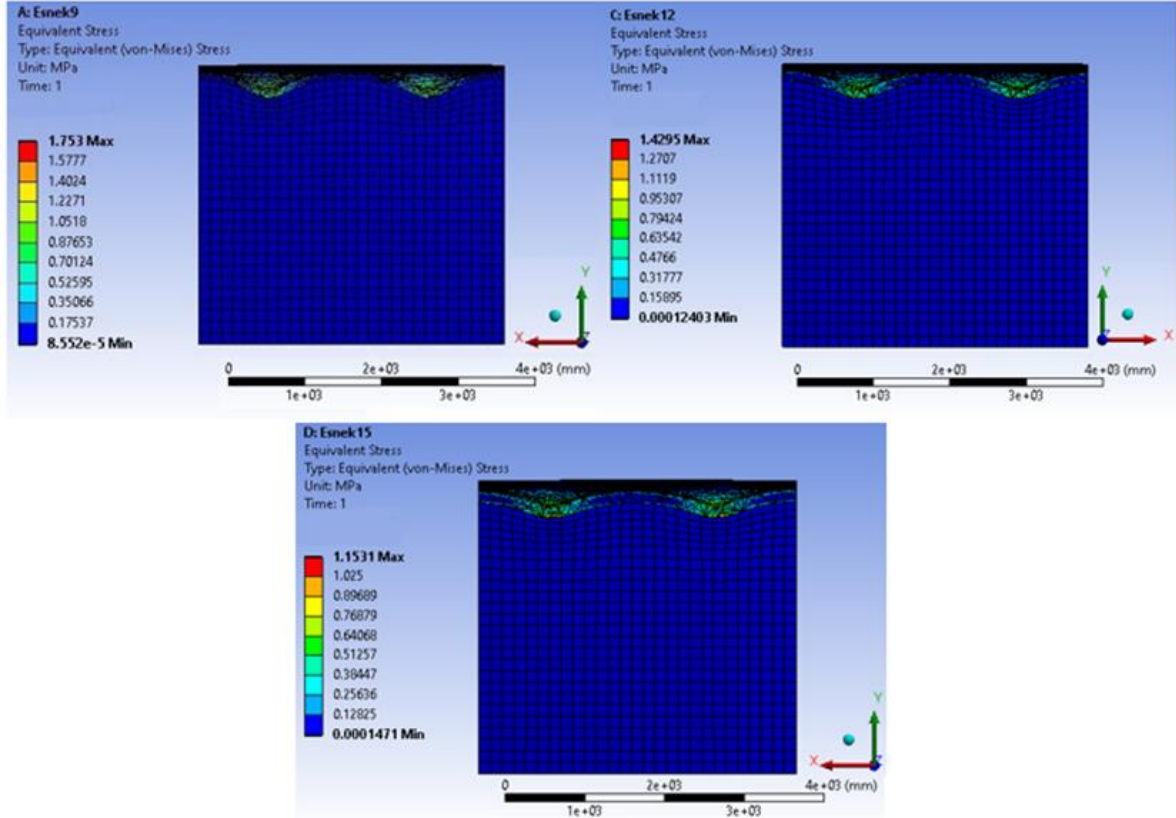
Şekil 3. Ansys sonlu elemanlar modeli sınır koşulları

### 3. Bulgular ve Tartışma

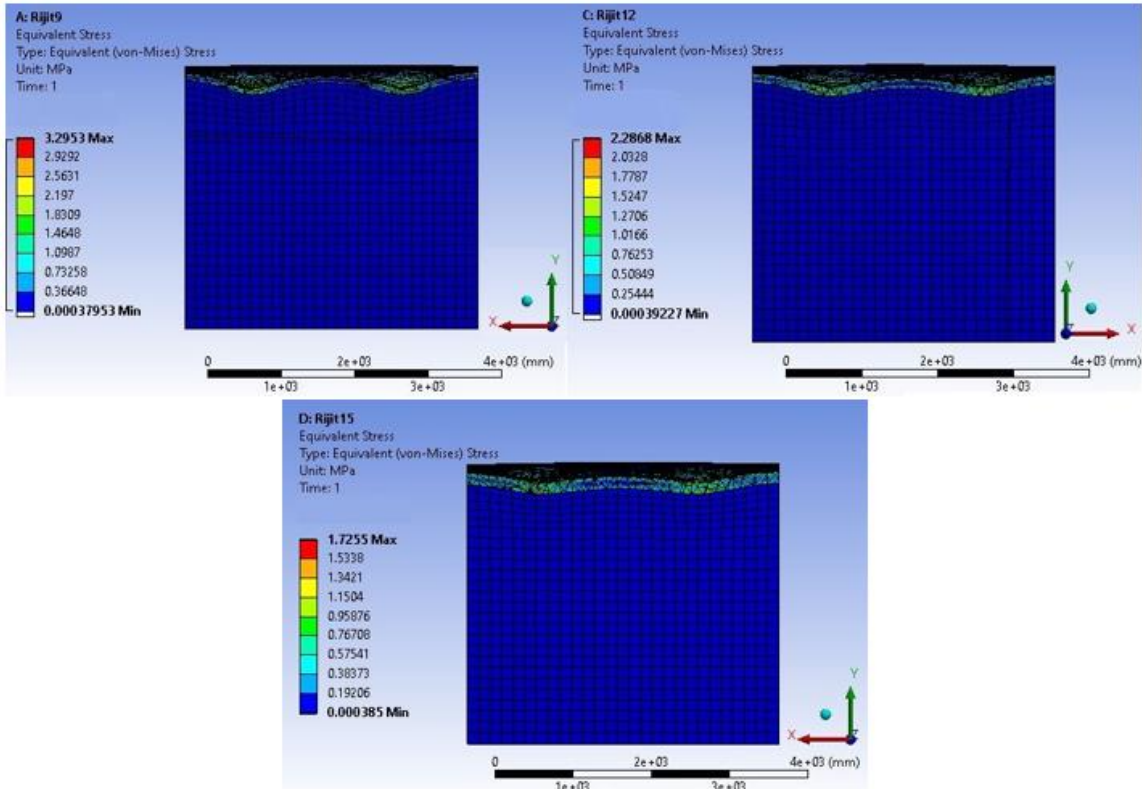
Bu çalışmada, farklı tabaka kalınlıklarına sahip esnek ve rijit kaplamaların gerilme ve yer değiştirme dağılımları karşılaştırılmıştır. Şekil 3’te üç farklı kalınlıkta esnek üstyapıdaki eşdeğer gerilme dağılımları, Şekil 4’te ise aynı kalınlıklara sahip rijit üstyapıda eşdeğer gerilme dağılımları gösterilmektedir. Esnek kaplamanın yer değiştirme değerleri Şekil 5’te, rijit kaplama modelindeki yer değiştirme değerleri Şekil 6’da verilmiştir.

Şekil 3 esnek üstyapılarda eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Esnek kaplamalar için hesaplanan eşdeğer gerilmelerin tabaka kalınlığının azalmasıyla arttığı görülmektedir. Esnek kaplamalarda farklı tabaka kalınlıkları incelendiğinde en yüksek eşdeğer gerilme değeri 1.75 MPa ile 90 mm tabaka kalınlığında elde edilmiştir. Ayrıca esnek kaplama modellerinde en düşük eşdeğer gerilme değeri 150 mm tabaka kalınlığında 1.15 MPa olarak elde edilmiştir.

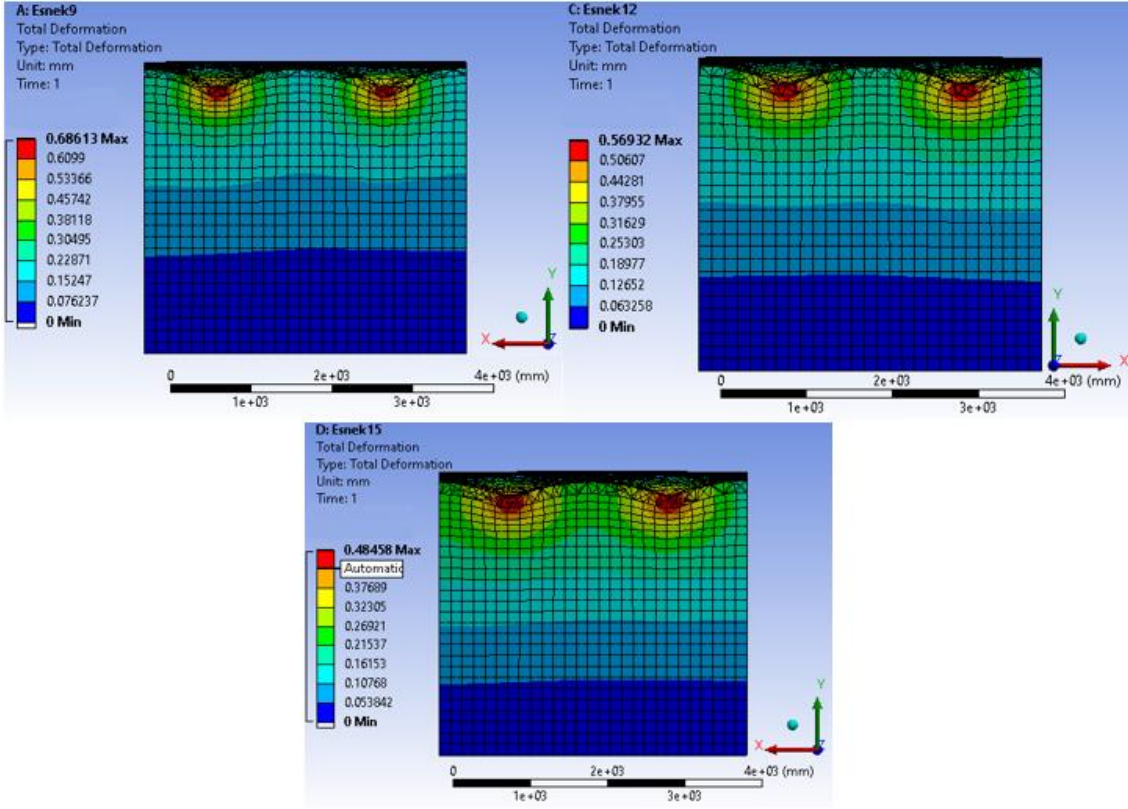
Şekil 4’te farklı tabaka kalınlıklarına sahip rijit kaplamaların eşdeğer gerilim (von-mises) değerlerinin değişimini görülmektedir. En düşük eşdeğer gerilme değeri 1.72 MPa ile 150 mm tabaka kalınlığında, en yüksek eşdeğer gerilme değeri ise 3.29 MPa ile 90 mm tabaka kalınlığında elde edilmiştir.



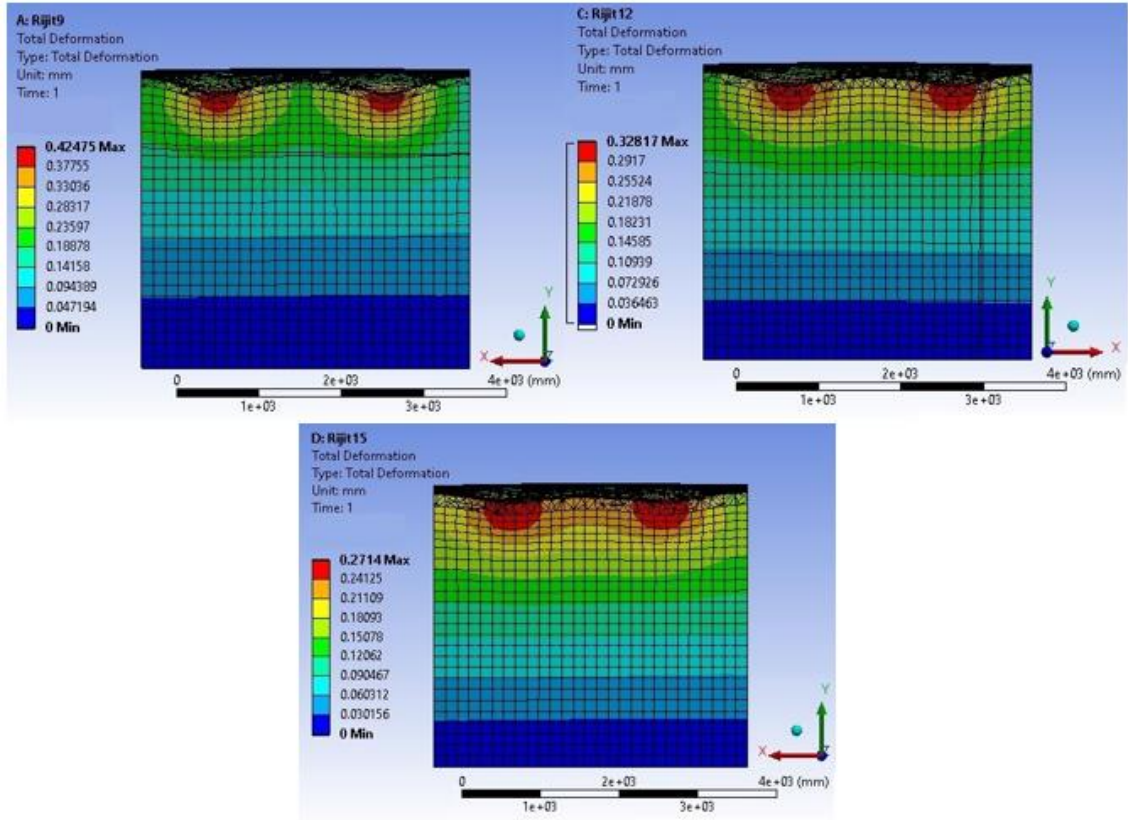
Şekil 3. Esnek kaplama modelinde eşdeğer gerilme dağılımı



Şekil 4. Rijit kaplama modelinde eşdeğer gerilme dağılımı



Şekil 5. Esnek kaplama modeli için yer değiştirmeler



Şekil 6. Rijit kaplama modeli için yer değiştirmeler

Yer değiştirme sonuçlarına bakıldığında ise, üstyapı tabakasının kalınlığı arttıkça hem esnek hem de rijit kaplamaların yer değiştirmesinin azaldığı görülmüştür. Her iki kaplama modelinde de en yüksek yer değiştirme, tekerlek yükünün etkilediği noktanın hemen altında meydana gelmektedir. 90 mm ile 150 mm arasında farklı tabaka kalınlıklarına sahip esnek kaplama modelinde yer değiştirme değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. 150 mm kaplama kalınlığına sahip modelde 0.48 mm ile en düşük yer değiştirme olurken, 90 mm kaplama kalınlığına sahip modelde 0.68 mm ile en yüksek yer değiştirme olmuştur.

Farklı kalınlıklara sahip rijit kaplama modelindeki yer değiştirme değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Kaplama kalınlığı 150 mm olan modelde 0.27 mm ile en düşük yer değiştirme, 90 mm olan modelde 0.42 mm ile en yüksek yer değiştirme gerçekleşmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada aynı dingil yükü altında farklı tabaka kalınlıklarına sahip esnek ve rijit kaplamaların karşılaştırılmalı analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki kaplamada da en yüksek eşdeğer gerilmeler ve toplam yer değiştirmelerin tekerlek ile kaplama tabakası temas bölgesinde oluştuğu anlaşılmıştır.

Esnek üstyapılarda en az tabaka kalınlığı ile en fazla tabaka kalınlığı kıyaslandığında yer değiştirme %29 oranında artış göstermiştir. Rijit kaplamalarda ise bu oran %36 olarak elde edilmiştir. Hem esnek hem de rijit üstyapılarda, tabaka kalınlığı arttıkça yer değiştirme miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonlu eleman modelleri incelendiğinde hem esnek hem de rijit kaplamalarda kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça oluşan gerilmelerin azaldığı görülmüştür. Esnek kaplama modellerinde gerilmelerin 1.15 MPa ile 1.75 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Rijit kaplama modellerinde gerilme dağılımları incelendiğinde gerilme değerleri 1.72 MPa ile 3.29 MPa arasında değişmektedir.

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.

#### Kaynakça

- [1] Topçuoğlu D. (2016). Akma Tekerlek Izi Oluşumunun Sonlu Elemanlar Metodu Ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [2] Özcanan, S., & Akpınar, M. V. (2014). Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigürasyonların Mekanistik Analizlere Göre Tespit Edilmesi. *Teknik Dergi*, 25(121).
- [3] Ziari, H., Aliha, M. R. M., Mojaradi, B., & Jebalbarezı Sarbijan, M. (2019). Investigating the effects of loading, mechanical properties and layers geometry on fatigue life of asphalt pavements. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 42(7), 1563-1577.
- [4] Banerji, A. K., Topdar, P., & Datta, A. K. Finite Element Analysis of Vehicle Pavement Interaction based on Static and Transient Dynamic loading.

- [5] Serin, S., Ođuzhanođlu, M. A., & Kayadelen, C. (2021). Comparative analysis of stress distributions and displacements in rigid and flexible pavements via finite element method. *Revista de la construcción*, 20(2), 321-331.
- [6] Ban, B., Shrestha, J. K., Pradhananga, R., & Shrestha, K. C. (2021). Three-Dimensional Elastic Analysis of Flexible Pavement under Static Vehicular Load.
- [7] ANSYS Workbench Release 19.0. (2019). ANSYS Inc. Canonsburg, Pennsylvania.
- [8] Liu, G.R., Quek, S.S., The Finite Element Method: a Practical Course, Ed: Liu G.R. and Quek S.S. Butterworth Heinemann, Oxford, 1-11, (2003).
- [9] Güler, M. & Ően, S. (2016). SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi , 5 (1) , 56-66 .
- [10]M. De Beer, "Measurement of tyre/pavement interface stresses under moving wheel loads," Heavy Vehicle Systems, vol. 3, no. 1-2, pp. 97-115, 1996.
- [11]DOR, "Pavement Design Guidelines (Flexible Pavement)," tech. rep., 2014.