



Demiryolu Üstyapı Tasarımlarında Geogrid Kullanımının Sonlu Elemanlar Modellemesi ile Araştırılması

Hüseyin AKBULUT¹, Buğra CANPOLAT*²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

² TCDD Genel Müdürlüğü, Yapım Dairesi Başk., 3. Grup Müd., Afyonkarahisar, Türkiye

*bugracanpolat@tcdd.gov.tr

(Alınış/Received: 13.10.2023, Kabul/Accepted: 15.11.2023, Yayımlama/Published: 31.01.2024)

Öz: Demiryollarının, hızla artan trafiğe bağlı olarak, ortaya çıkan ulaşım sorununun çözümünde ulaştırma altyapılarının en önemli parametresi haline geldiği görülmektedir. Artan bu yoğun yük ve yolcu taşıma talebini karşılamak için, demiryollarında yolun hizmet ömrünü uzatmak, taşıma kapasitesini arttırmak, bakım döngülerini uzatmak, kullanılacak dolgu malzemesi ve altbalast tabakası için tabaka kalınlıklarını azaltmak, inşaat süresini kısaltmak ve maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla alternatif çözümler aranmaktadır. Bu tür mühendislik problemlerin çözümünde genellikle deneysel, analitik ve sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. Yapılan bu çalışmada sayısal bir yöntem olan ANSYS sonlu elemanlar metodu kullanılarak altbalast tabakası ile taban zemini arasına yerleştirilen tek sıra geogrid malzemenin analizler sonucu yapıya olan muhtemel etkileri değerlendirilmiştir. Ülkemiz standartlarına uygun olarak tasarımı yapılan bu demiryolu üstyapısı; geogrid malzeme kullanılmadan ve geogrid malzeme kullanılarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ayrıca tasarımda farklı dingil yükü (120 kN, 225 kN, 350 kN), farklı altbalast tabaka kalınlığı (150 mm, 200 mm) ve farklı özelliklere sahip taban zemini türleri kullanılmış; toplamda 96 adet analiz kombinasyonu oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonuçları; düşey yönlü yer değiştirme ve gerilme değeri grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, demiryolu üstyapı tasarımında geogrid malzeme kullanımı ile altbalast tabaka kalınlığının azaltılabileceği, buna bağlı olarak daha ekonomik ve yük taşıma kabiliyeti daha yüksek bir üstyapının oluşturulmasına imkân vereceği anlaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Demiryolu, Geogrid, Sonlu elemanlar metodu, ANSYS, Altbalast, Taban zemini

Investigation of the Use of Geogrid in Railway Pavement Designs with Finite Element Modeling

Abstract: It is accepted that railway is the most important parameter of transportation infrastructures in solving the transportation obstacles that arises due to rapidly increasing traffic in almost every country. In order to meet the increasing intense freight and passenger transportation demand, alternative solutions have been sought in railways not only extending the service life and bearing capacity of the pavement, but also, reducing the layer thickness of sub-ballast layer of the filling material used and minimize the construction costs. In order to meet all these demand, experimental, analytical and numerical methods have been generally used by engineers and academic. In this study, the possible effects of a single row geogrid material placed between the sub-ballast layer and the subgrade on the structure were analyzed using the ANSYS finite element method, which is a numerical method. This railway pavement, designed in accordance with our country's standard procedures; It was analyzed separately with and without using geogrid material within the layers. In addition, different axle loads, different sub-ballast layer thicknesses and subgrade types with different properties were used in the design set up procedure; A total of 96 analysis combinations were created. Analysis results; It was evaluated with the help of vertical displacement and stress value graphs. The study shows that, the use of geogrid material in railway pavement design will enable the reduction of sub-ballast layer and, the leading of a more economical and higher load-bearing pavement layers.

Keywords: Railway, Geogrid, Finite element method, ANSYS, Sub-ballast, Subgrade

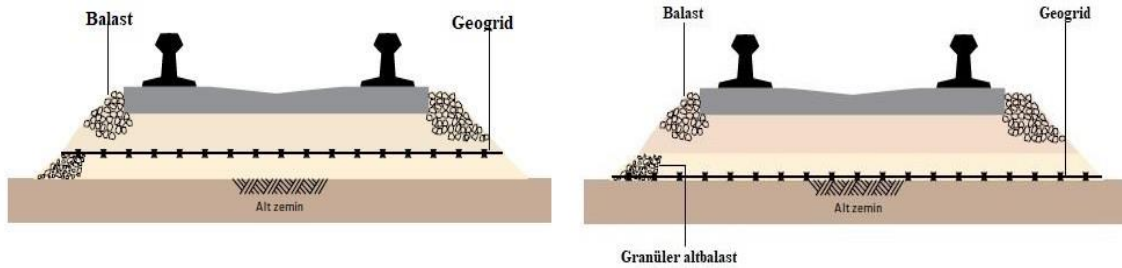
Atıf için/Cite as: H. Akbulut, B. Canpolat "Demiryolu üstyapı tasarımlarında geogrid kullanımının sonlu elemanlar modellemesi ile araştırılması," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 19, pp. 83-95, Jan. 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1375402

1. Giriş

Demiryolu ulaştırma sistemi, karayollarının ardından bir ülkenin altyapı gelişiminin önemli bir parçasıdır. Bu nedenle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından demiryolu üzerinde yük ve yolcu taşımacılığına ayrıca önem verilmiş; nüfus artışı, hızlı kentleşme, artan yakıt fiyatları ve trafik sıkışıklığı gibi problemler neticesinde oluşan talebin karşılanabilmesi amacıyla da mevcut yolların geliştirilmesi ve yeni yolların yapımına hız verilmiştir. Özellikle yeni yolların yapım aşamasında; yüksek maliyetlerin yanı sıra, çok fazla miktarda granüler malzeme kullanımı gerekmektedir. Bunun sonucu olarak; ülkemiz ve dünyada doğal kaynaklar hızla tükenmektedir. Bu nedenle, alternatif üstyapı inşaat malzemeleri ile granüler malzemenin daha az miktarlarını içeren tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ve benimsenmesi önem arz etmektedir [1, 2].

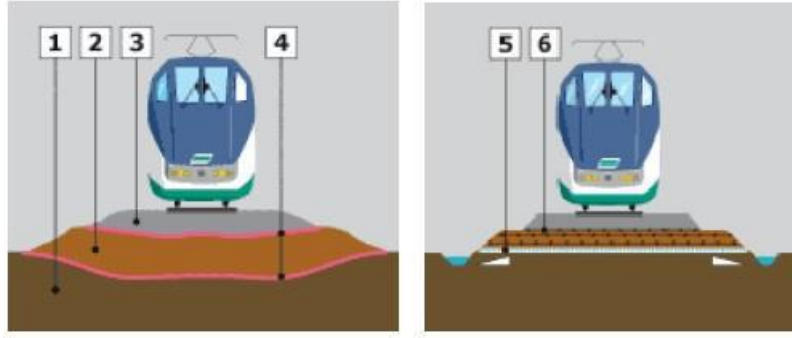
Demiryolu üstyapısını güçlendirmek için geosentetik malzemelerin kullanımı, doğal kaynakları verimli kullanmak, zayıf zeminleri güçlendirmek, üstyapının hizmet ömrünü iyileştirmek ve uzatmak, belirli bir hizmet ömrü için tabaka kalınlıklarını azaltmak ve yapının dayanımını arttırmak adına alternatif ve umut vaat eden bir yöntemdir [3, 4]. 1970'li yıllarda 5-6 farklı geosentetik malzeme seçeneği mevcut iken; günümüzde 600'den fazla geosentetik malzeme türü piyasada varlık göstermektedir [5].

Geogrid malzemelerin demiryolu üstyapı sistemlerinde kullanımı ile özellikle geosentetik malzemelerin iki temel işlevi olan ayırma ve güçlendirme fonksiyonları yerine getirilmektedir. Geogrid kullanımı ile üstyapı mühendislik özelliklerinin mekanik olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi birinci öncelik olurken; geogrid malzemelerin boşluklu yapısı gereği ayırma fonksiyonu ikincil işlev olarak karşımıza çıkmaktadır [4].



Şekil 1. Demiryolu balast ve altbalast tabakalarında geogrid kullanımı [7]

Demiryolu üstyapı tasarımlarında geogrid malzemelerin Şekil 1.'de görüldüğü gibi balast ve/veya altbalast tabakalarında olmak üzere iki farklı kullanım yeri mevcuttur [6]. Balast tabakasında kullanıldığında balast oturma oranlarının azaltılması, oluşturulan balast tabakasının birbirleriyle kenetlenmesi sonucu balast malzemesinde oluşabilecek deformasyonların azaltılması, hattın geometrisinin korunması ve bakım döngülerinin uzatılması ile bakım maliyetlerinin azaltılması hedeflenmektedir [7-9]. Altbalast tabakasında kullanılması durumunda Şekil 2.'de olduğu gibi; dinamik ve statik yüklerin daha geniş alana yayılması sağlanarak düşey gerilmenin azaltılması ve taşıma kapasitesinin artırılması, altbalast tabaka kalınlığının azaltılması ve zayıf taban zeminine sahip tasarımlarda deformasyonların azaltılması istenmektedir [10-13].



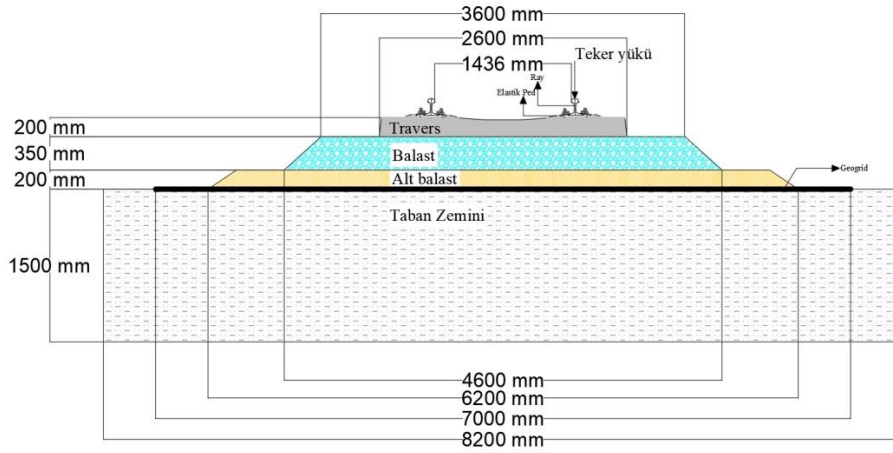
Şekil 2. Demiryolu inşaatlarında geogrid kullanımı 1) Zayıf zemin 2) Yol dolgusu 3) Balast tabakası 4) Deformasyon profili 5) Geokompozit 6) Geogrid malzemesi [14]

Yapılan literatür araştırması ve irdelenen saha uygulamaları neticesinde; geogrid malzeme kullanımına özellikle Avrupa ülkelerinde sıkça yer verildiği görülmektedir. Geogrid malzemesinin kolay kurulabilir olması ve maliyetlerinin düşük olması geniş kabul görmesinde öne çıkan faktörlerdir. 1988 yılında İngiltere'nin Shirlend bölgesindeki demiryolu güzergahına uygulanan geogrid malzemesinden 1997 ve 2006 yıllarında numuneler alınmıştır. Yapılan testler sonucunda geogrid malzemenin hala çekme dayanımı özelliklerini koruduğu ve kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Bu saha uygulaması neticesinde geogrid malzemelerin 20 yıldan fazla hizmet ömrünün olduğu görülmektedir [7, 14]. Hussaini vd. [15] yapmış olduğu çalışmada ise yol oturmaları açısından sorun teşkil eden bir demiryolu güzergahında geogrid malzeme kullanımı ile hız sınırlarının arttırılabileceğinin yanı sıra, zaman içerisinde yanal ve düşey yer değiştirme değerlerinin de önemli oranlarda azaldığını belirtmiştir. Son olarak Sadeghi vd. [16] geogrid ile güçlendirilen bir demiryolu güzergahında balast tabakasının kum ile kirletilmesi sonucundaki etkileri gözlemlemiş ve balast kirliliğinin %24'ü aşması durumunda geogrid takviyesinin etkisini kaybettiğini belirtmiştir.

Yapılan bu çalışmada, ülkemiz demiryollarında kullanılmakta olan UIC60 tipi ray, elastik ped, B70 tipi travers ve analiz kuvvetlerinin uygulanacağı 500 mm yarıçaplı bir demiryolu taşına ait tekerin üç boyutlu modelleri ANSYS Spaceclaim uygulaması yardımıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan nihai demiryolu üstyapısında; altbalast tabakası ile taban zemini arasında yerleştirilen tek sıra geogrid malzemenin etkileri ANSYS sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Analizlerde, farklı dingil yükü (120 kN, 225 kN, 350 kN), farklı altbalast tabaka kalınlığı (150 mm, 200 mm) ve farklı özelliklere sahip taban zemini kullanılarak 96 adet analiz yapılmış, geogrid malzemesinin farklı kesitler üzerindeki etkileri düşey yönlü gerilme ve yer değiştirme grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir. Geogrid malzemenin altbalast tabakası ile taban zemini arasında kullanılması ile taban zeminindeki deformasyonları ve gerilmeleri azaltacağı, yol güvenliğinin artmasında etkili olacağı, altbalast tabaka kalınlığının azaltılmasına yardımcı olarak granüler malzemeye olan ihtiyacı da azaltacağı sonuçlarına ulaşılmıştır.

2. Metot

Sonlu elemanlar metodu esnek üstyapıların analizi için uygun yapısal yöntemlerden biridir. Karmaşık geometrilerin sanal ortamda test edilmesi sebebiyle ekonomik olmasına da olanak sağlayan bu yöntem statik ve dinamik problemlerin analizinde sıklıkla tercih edilmektedir. Yapılan çalışmada ANSYS sonlu elemanlar metodu tercih edilmiştir. ANSYS programı yardımıyla oluşturulan modelin üç boyutlu geometrisinde; üstyapı elemanlarını oluşturan 500 mm yarıçaplı tren tekeri, UIC60 E1 tipi ray, B70 tipi travers ve elastik ped (plastik selet) TCDD ve UIC standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Tasarım ölçülerine ait autocad çizimine Şekil 3.'te yer verilmiştir.



Şekil 3. Analiz için modellenen demiryolu kesitine ait autocad çizimi

Yapılan çalışmada farklı dingil yükleri belirlenmiş olması sebebiyle analiz sürelerinin daha uzun olduğu dinamik analiz yerine, statik analiz tercih edilmiştir. Kullanılan malzemelere ait ve analiz için gerekli olan elastisite modülü ve poisson oranı değerleri öncelikli olarak yapılan literatür araştırmasına göre belirlenmiş, Tablo 1.'de buna yer verilmiştir. Elastisite modülü, uygulanan kuvvete maruz kalan malzemelerin meydana gelen şekil değiştirmelere karşı koyması olarak tanımlanmakta olup; her malzeme için karakteristik olarak farklılık göstermektedir. Demiryolu üstyapı tasarımında geogrid malzemenin performansa etkisini araştırmak amacıyla analizlerde birbirinden farklı elastisite modülüne sahip üç geogrid malzeme kullanılmıştır. Kullanılan geogrid malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 2.'de belirtilmiştir. Tasarımda tercih edilen geogrid malzemenin fiziksel özellikleri Polatlı – Afyon Yüksek Hızlı Tren projesinin 400 metrelik kesiminde kullanılan geogrid malzemeye benzer özellikte seçilmiştir. Mekanik özellikleri ise yapılan literatür ve piyasa araştırması neticesinde belirlenmiştir. Ayrıca oluşturulan modelin farklı dingil yükleri altında ne tür tepki vereceği de değerlendirilmek amacıyla yolcu vagonu, YHT-yük vagonu ve ağır yük vagonunu temsil edecek şekilde üç farklı dingil yükü altında analizler tekrarlanmıştır. Dingil yüklerine ait veriler ise Tablo 3.'te belirtilmiştir.

Tablo 1. Modellemede kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler

| Malzeme | Elastisite Modülü (MPa) | Poisson Oranı (ν) | Kaynak |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| Tren teker | 205000 | 0,30 | [17] |
| Ray (UIC 60) | 210000 | 0,30 | [18] |
| Elastik ped | 1000 | 0,45 | [19] |
| Travers | 25500 | 0,20 | [19] |
| Balast | 200 | 0,25 | [19] |
| Altbalast | 115 | 0,35 | [19] |
| Zemin 1 (Kötü) | 35 | 0,40 | [19] |
| Zemin 2 (Orta) | 80 | 0,40 | [19] |
| Zemin 3 (İyi) | 140 | 0,40 | [19] |
| Zemin 4 (Çok iyi) | 200 | 0,40 | [19] |

Tablo 2. Modellemede kullanılan geogride ait mekanik özellikler

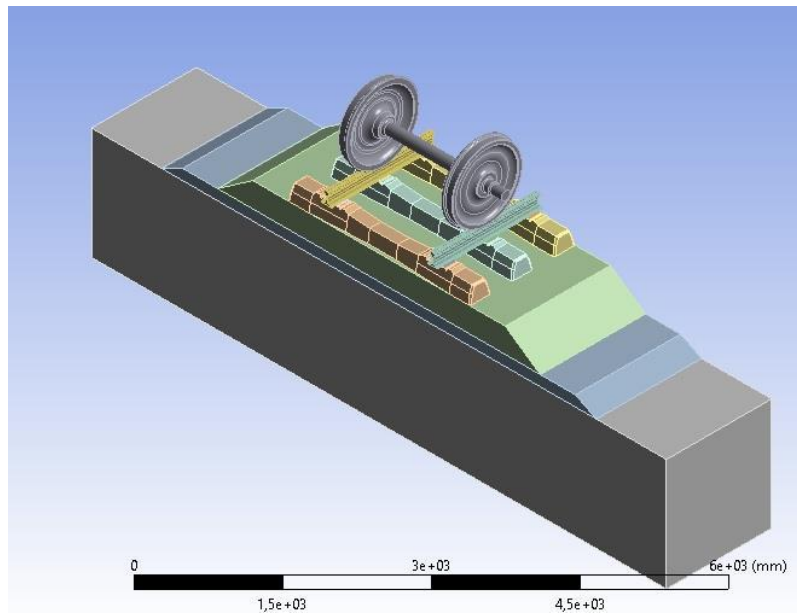
| Geogrid Malzeme | Göz Açıklığı (mm) | Genişliği (mm) | Kalınlığı (mm) | Elastisite Modülü (MPa) | Poisson Oranı (v) | Kaynak |
|-----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------|--------|
| Geogrid 1 | 40x910 | 100/90 | 4 | 760 | 0,30 | [20] |
| Geogrid 2 | 40x910 | 100/90 | 4 | 4230 | 0,30 | [21] |
| Geogrid 3 | 40x910 | 100/90 | 4 | 5700 | 0,30 | [22] |

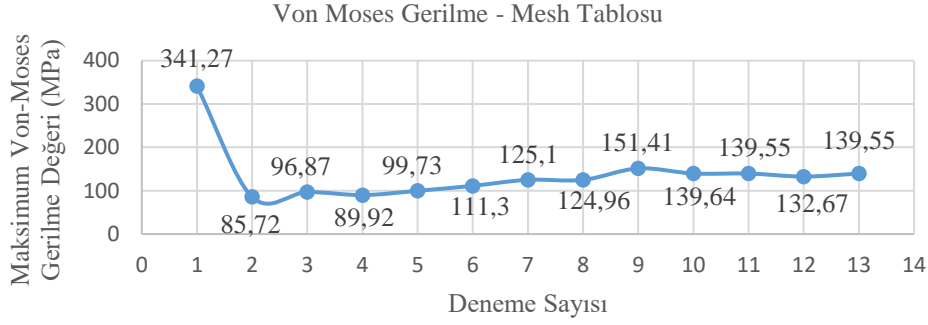
Tablo 3. Modellemede kullanılan dingil yükleri

| Dingil yükü (kN) | Demiryolu taşıtı |
|------------------|-------------------|
| 120 | Yolcu vagonu |
| 225 | YHT ve yük vagonu |
| 350 | Ağır yük vagonu |

Analiz için oluşturulan tasarıma ait verilerin toparlanması ile analiz kombinasyonu oluşturulmuş ve toplamda 96 adet analiz yapılması gerektiği belirlenmiştir. ANSYS Spaceclaim uygulaması kullanılarak tasarımın modeli 3 boyutlu olarak oluşturulmuş ve analiz edilmek üzere ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. Analiz edilen modelin görseli Şekil 4.'te görüldüğü gibidir.

ANSYS Workbench programında analizlere başlamadan; değerlendirmeye alınan 13 farklı mesh kombinasyonu arasından optimum mesh aralığı tespit edilmiştir. Belirlenen sonlu elemanlar ağı tüm analizlerde aynı şekilde uygulanmıştır. Sonlu elemanlar ağının belirlenmesi amacıyla Von-mises gerilme değerlerinden faydalanılarak oluşturulan mesh optimizasyon grafiği Şekil 5.'te verilmiştir. Sonlu elemanlar ağı için optimum değer belirlenmesi; oluşturulan ağın analiz sonuçlarını direkt olarak etkilemesi sebebiyle önem arz etmektedir. Elemanlar için küçük boyutlu sonlu elemanlar ağının atanması doğru sonuca yaklaşmamızı sağlarken, analiz sürelerinin de uzamasına neden olmaktadır. Bu çalışmaya ait tasarım için oluşturulan optimum sonlu elemanlar ağı değerleri; taban zemini için 60 mm, balast ve altbalast tabakası için 50 mm, traversler için 40 mm, teker-ray-geogrid için ise 25 mm'dir. Oluşturulan mesh kombinasyonu ile 1.098.258 adet düğüm noktası ve 361.527 adet eleman oluşturulmuştur.

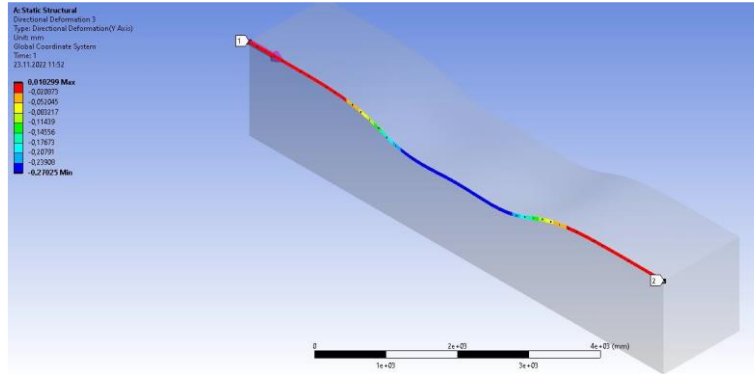
**Şekil 4.** ANSYS Workbench 2020 R2 uygulamasına aktarılmış model



Şekil 5. ANSYS Workbench analiz için mesh optimizasyon grafiği

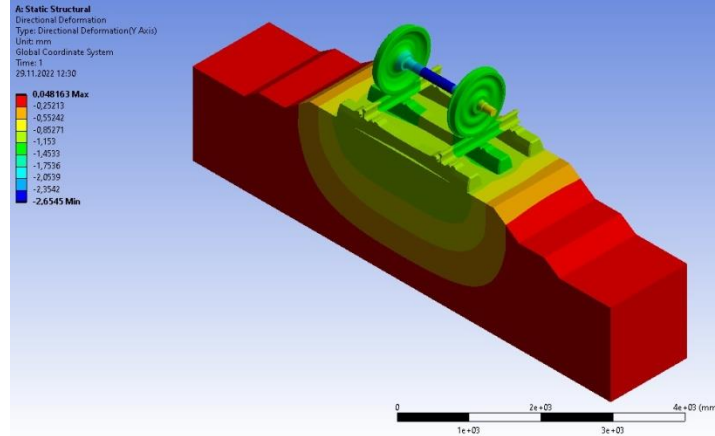
3. Bulgular

Oluşturulan modellerin tamamı ANSYS sonlu elemanlar metodu yardımıyla analiz edilmiştir. Geogrid takviyeli ve geogrid takviyesiz tasarımlar düşey yönlü yer değiştirme ve gerilme değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerin okuması altbalast tabaka kalınlığı, taban zemini ve geogrid malzeme mekanik özellikleri değişken olduğundan “Construction Geometry” komutu yardımıyla eksenin koordinat sistemindeki başlangıç ve bitiş noktaları belirlenerek yatay hat (path) oluşturulmuştur. Oluşturulan yatay hat taban zemini ile altbalast tabakası temas noktasının 5 mm altına denk gelmektedir. Şekil 6.’da oluşturulan yatay hat görseli mevcuttur.

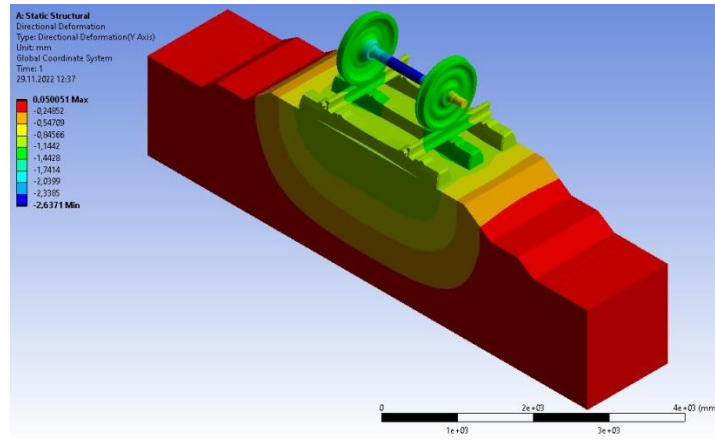


Şekil 6. Analiz sonuçlarının okunduğu yatay hat (path)

Şekil 7.’de geogridsiz demiryolu üstyapı tasarımı 225 kN dingil yükü altında meydana gelen yer değişimleri ve Şekil 8.’de 5700 MPa elastisite modülüne sahip geogridli bir demiryolu üstyapı tasarımı için 225 kN dingil yükü altında meydana gelen yer değişimleri verilmiştir.



Şekil 7. 225 kN dingil yükü altında geogridsiz üstyapı tasarımı için düşey yönlü yer değiştirme

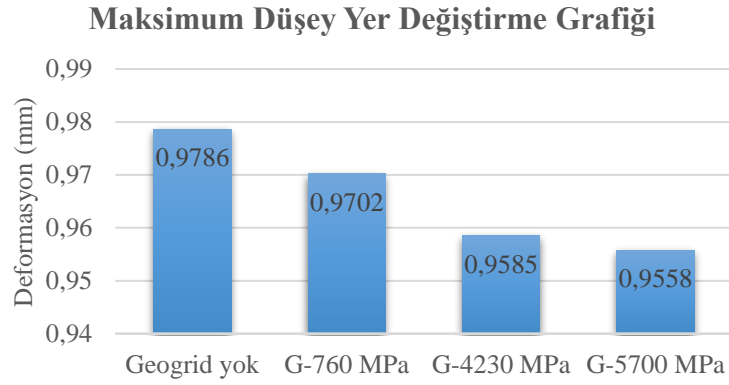


Şekil 8. 225 kN dingil yükü altında 5700 MPa elastisite modülüne sahip geogridli üstyapı tasarımı için düşey yönlü yer değiştirme

20 cm altbalast tabakası ve taban zemin türü 1 olan tasarıma 225 kN dingil yükü uygulanmış; yatay hat boyunca oluşan maksimum düşey yer değiştirme değerlerine Tablo 4. ve Şekil 9.'da yer verilmiştir. Geogrid kullanılmamış olan tasarıma kıyasla, en az düşey deformasyonun oluşmasını sağlayan 5700 MPa elastisite modülüne sahip geogrid malzeme kullanılan tasarımda; deformasyonların %2,3 oranında azaldığı görülmektedir. 760 MPa elastisite modülüne sahip geogrid malzemenin kullanıldığı tasarımda bu oran %0,86 iken; 4230 MPa elastisite modülüne sahip tasarımda oran %2,05 olarak tespit edilmiştir. Geogrid malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesi, zayıf zeminlerde deformasyonların azalmasında etkili olmaktadır.

Tablo 4. Maksimum düşey yönlü yer değiştirme değerleri

| Geogrid olmayan tasarım | Geogrid (760 MPa) | Geogrid (4230 MPa) | Geogrid (5700 MPa) |
|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 0,9786 mm | 0,9702 mm | 0,9585 mm | 0,9558 mm |

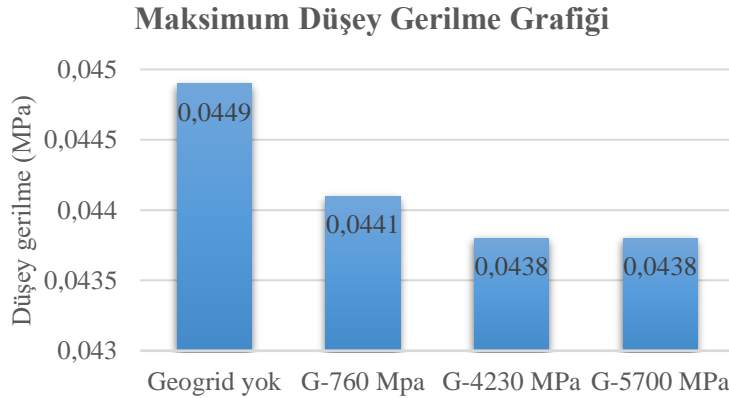


Şekil 9. 225 kN dingil yükü için maksimum düşey yönlü yer değiştirme değerleri

20 cm altbalast tabakası ve taban zemin türü 1 olan tasarıma 225 kN dingil yükü uygulanmış; yatay hat boyunca oluşan maksimum düşey yönlü gerilme değerlerine Tablo 5. ve Şekil 10.'da yer verilmiştir. Geogrid kullanılmamış olan tasarıma kıyasla, 5700 MPa geogrid kullanılan tasarımın düşey yönde gerilme değerlerinin %2,45 oranında azalmasına yardımcı olduğu görülmektedir. 760 MPa elastisite modülüne sahip geogrid malzemenin kullanıldığı tasarımda bu oran %1,78 iken; 4230 MPa elastisite modülüne sahip tasarımda oran %2,45 olarak tespit edilmiştir. Geogrid malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesi, zayıf zeminlerde düşey gerilmelerin azalmasında etkili olmaktadır.

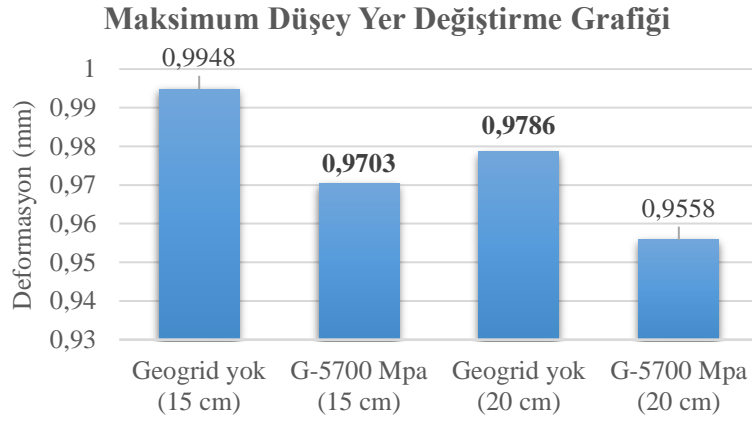
Tablo 5. Maksimum düşey gerilme değerleri

| Geogrid olmayan tasarım | Geogrid (760 MPa) | Geogrid (4230 MPa) | Geogrid (5700 MPa) |
|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 0,0449 kN | 0,0441 kN | 0,0438 kN | 0,0438 kN |

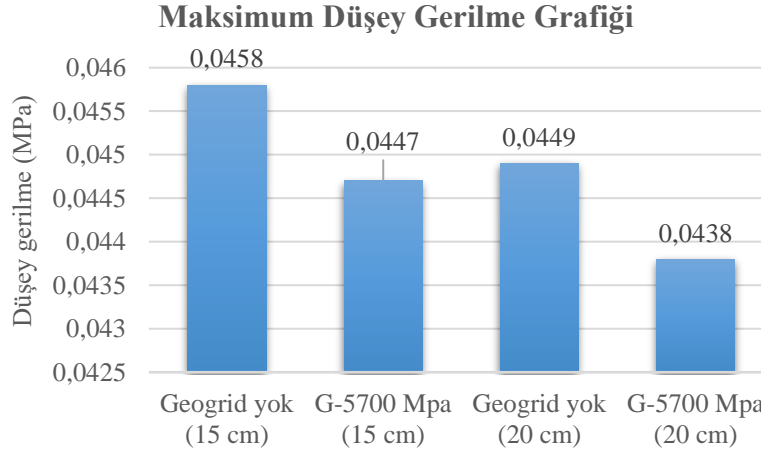


Şekil 10. 225 kN dingil yükü için maksimum maksimum düşey gerilme değerleri

225 kN dingil yükü ve zemin türü 1 (zayıf zemin) için farklı altbalast tabaka kalınlıkları; geogrid kullanılmayan tasarım ve 5700 MPa geogrid kullanılarak oluşturulan tasarım için birlikte incelenmiştir. Düşey deformasyon değerlerine ait sonuçlar Şekil 11.'de ve düşey gerilme değerlerine ait sonuçlar Şekil 12.'de paylaşılmıştır. Geogrid kullanılmamış 200 mm altbalast tabaka kalınlığına sahip tasarım ile 150 mm altbalast tabaka kalınlığı ve 5700 MPa elastisite modülüne sahip geogrid kullanılan tasarımda oluşan deformasyon ve gerilmelerin yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna göre zayıf zeminlerde geogrid malzeme kullanımı ile altbalast tabaka kalınlığının azaltılabileceği sonucu çıkmaktadır.

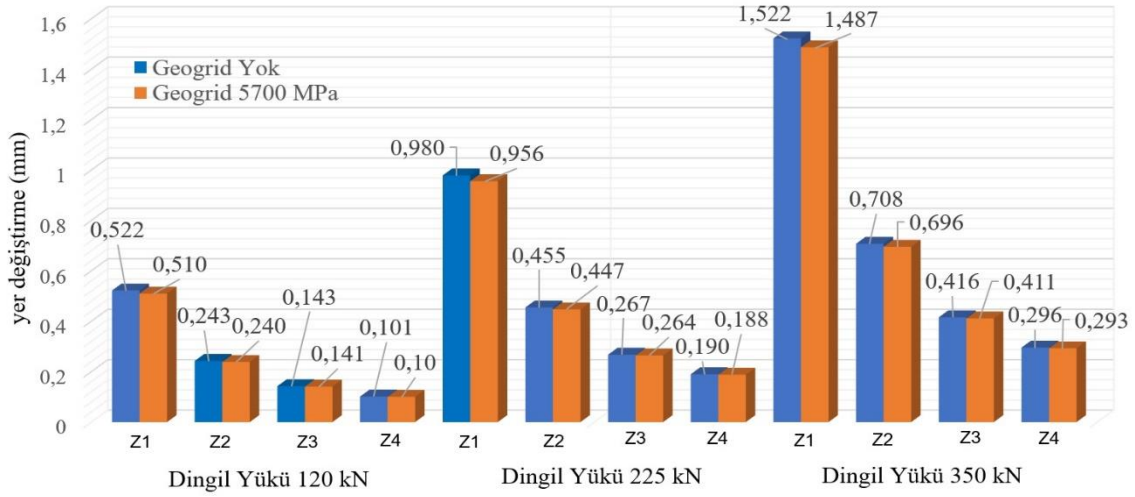


Şekil 11. Farklı altbalast tabaka kalınlıklarında maksimum düşey yönlü yer değiştirme değerleri

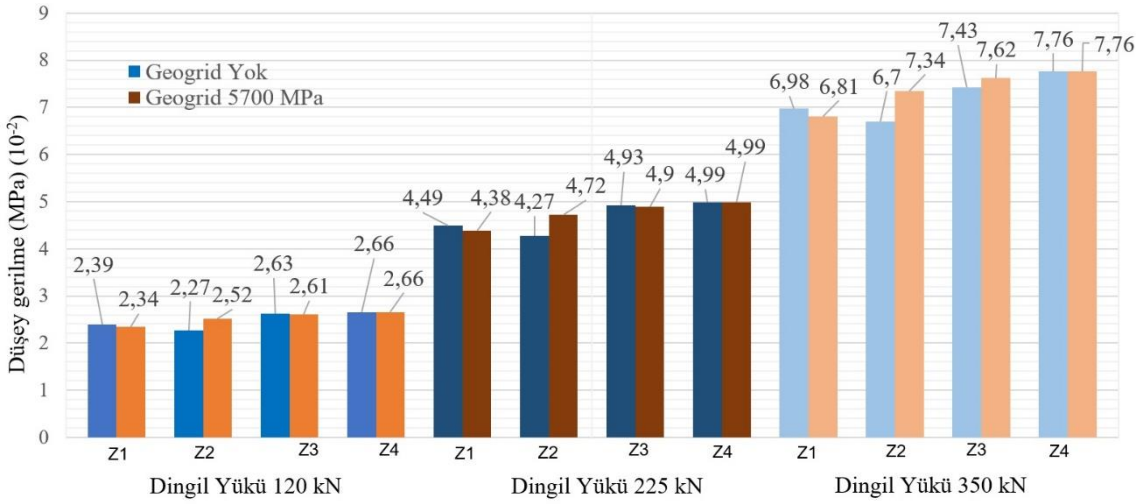


Şekil 12. Farklı altbalast tabaka kalınlıklarında maksimum düşey gerilme değerleri

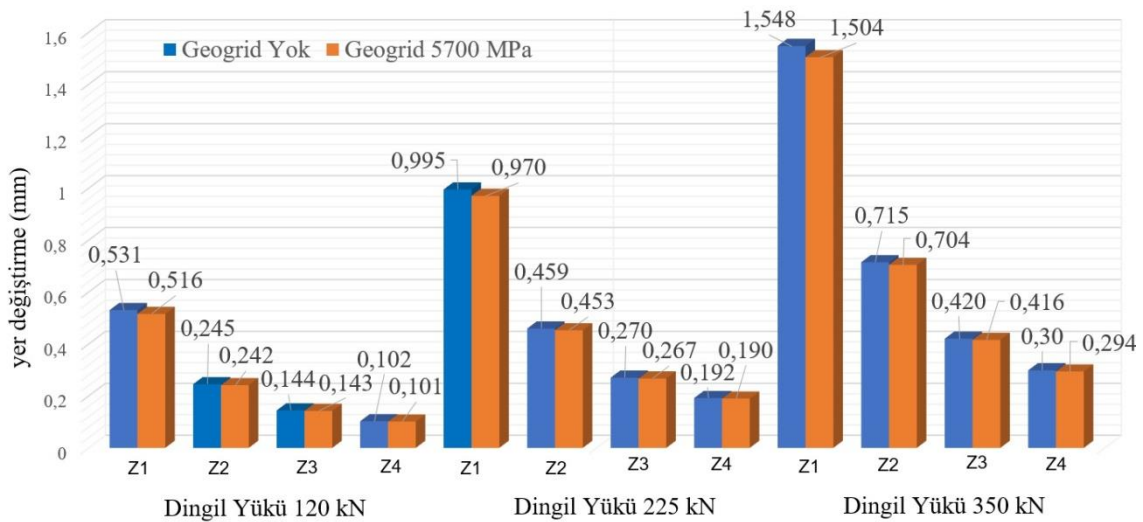
Tasarım aşamasında oluşturulan analiz kombinasyonlarından geogrid malzeme kullanılmayan tasarım ile 5700 MPa elastisite modülüne sahip geogrid kullanılan tasarım, analizlerde maksimum ve minimum değerlerin çıkması ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle Şekil 13., Şekil 14., Şekil 15. ve Şekil 16.'da bu iki farklı tasarım için çalışmada belirlenen analiz kombinasyonları ile çıkan sonuçlarına ayrıca yer verilmiştir. Şekil 13.'te 200 mm altbalast tabakası tasarımda oluşturulan bütün dingil yükleri ve bütün taban zemini değerleri açısından birlikte incelendiğinde; geogrid malzeme kullanılan ve zayıf zemine sahip tasarımda oransal olarak en iyi sonucu verdiği söylenebilir. Taban zemininin kalitesi arttıkça geogrid malzemenin etkisi de azalmaktadır. Dingil yükünün farklı olması ise geogrid malzeme kullanımının etkilerini oransal olarak etkilememiştir. Şekil 14.'te 200 mm altbalast tabakasına sahip tasarım gerilme değerleri açısından incelenmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 15'te bu kez 150 mm altbalast tabakasına sahip tasarımın düşey deformasyon sonuçları incelenmiş ve 200 mm altbalast tabakasına sahip tasarım ile birbirine paralel sonuçlar elde edilmiştir.



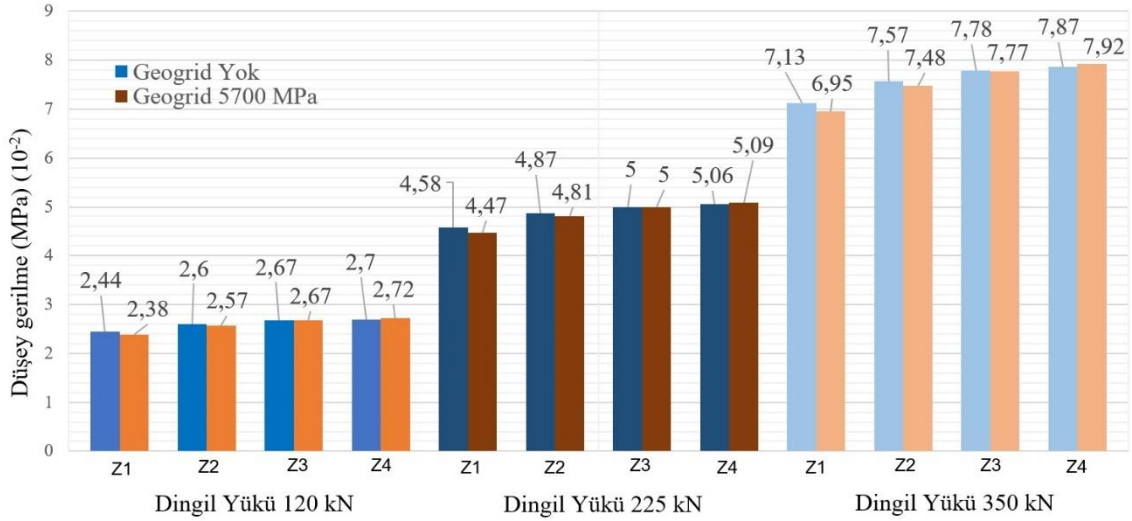
Şekil 13. 200 mm tabaka kalınlığı, farklı dingil yükü ve zemin türleri için yer değıştirme grafiği



Şekil 14. 200 mm altbalast tabaka kalınlığı, farklı dingil yükü ve farklı zemin türleri için düşey gerilme grafiği



Şekil 15. 150 mm tabaka kalınlığı, farklı dingil yükü ve zemin türleri için yer değıştirme grafiği



Şekil 16. 150 mm altbalast tabaka kalınlığı, farklı dingil yükü ve farklı zemin türleri için düşey gerilme grafiği

Bu çalışmada tasarımı yapılan demiryolu üstyapısında, analiz raporlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulan grafikler incelendiğinde; taban zemin türü değişiminin meydana gelen düşey yönlü gerilme ve yer değiştirmeye etkisinin çok önemli olduğu karşımıza çıkmaktadır. Taban zemini elastisite modülü arttıkça yani taban zemininin kalitesi arttıkça geogrid malzemenin etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Farklı dingil yükü ve farklı altbalast tabaka kalınlığına sahip tasarımlar ile yapılan analizlerde ise birbirine paralel benzer sonuçlarla karşılaşmıştır.

4. Sonuç

Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre; altbalast tabakası ile taban zemini arasında geogrid malzeme kullanımının taban zemini üzerindeki düşey yönlü yer değiştirme ve gerilmelerin azalmasına katkı sağlamaktadır. Kullanılan geogrid malzemesinin mekanik özellikleri iyileştikçe sonuçlarının da buna paralel olarak iyi yönde arttığı görülmüştür. Farklı altbalast tabaka kalınlığı kullanılarak yapılan analizler neticesinde; geogrid malzeme kullanılmasının altbalast tabaka kalınlığının azaltılmasına yardımcı olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle altbalast tabakasında kullanılan granüler malzemenin ülkemiz ve dünyada sınırlı miktarda olduğu göz önüne alınırsa, tabaka kalınlıklarının azaltılarak daha az miktarda granüler malzeme kullanımı için alternatif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca taban zemini malzeme türünün, analizlerde tercih edilen diğer parametrelere (dingil yükü, altbalast tabaka kalınlığı) göre daha etkili olduğu görülmüştür. Zemin iyileştirme ve güçlendirme çalışmalarının yüksek maliyetleri göz önüne alındığında, taban zemini üzerine uygun içerik ve özelliklerde geogrid kullanımının güçlü bir alternatif olarak değerlendirilebileceği görülmektedir.

Yapılan çalışmada geogrid malzemesinin taban zeminine olan etkisini değerlendirmek ve oluşan gerilmeleri daha iyi gözlemlemek amacıyla alt temel tabakasına tasarım aşamasında yer verilmemiştir. Farklı bir çalışmada alt temel tabakası dizayna dahil edilerek, farklı alt temel tabaka kalınlıkları için de geogrid malzemesinin etkisi gözlemlenebilir. Yine farklı bir çalışmada benzer demiryolu tasarımı farklı sonlu elemanlar programı yardımıyla analizler tekrarlanarak çıkan sonuçlar mukayese edilebilir. Saha uygulamalarında sıkça rastlanılan birden fazla sıra geogrid kullanımının dizayna etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla farklı sonlu elemanlar programı yardımıyla analizler tekrarlanabilir. Sonuçlar göstermektedir ki; sonlu elemanlar metodu kullanılarak çok kısa sürede, maliyetli ve uzun zaman alacak laboratuvar çalışmalarına gerek kalmadan üstyapı tasarımının hazırlanması ve malzeme özellikleri ile kriterlerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Kaynakça

- [1] G. N. Goud, B. Ramu, B. Umashankar, S. Sireesh & M. R. Madhav, "Evaluation of layer coefficient ratios for geogrid-reinforced bases of flexible pavements," *Road Materials and Pavement Design*, doi: 10.1080/14680629.2020.1812424
- [2] K. Sweta, S. K. K. Hussaini, "Effect of geogrid on deformation response and resilient modulus of railroad ballast under cyclic loading," *Construction and Building Materials*, vol. 264, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120690>
- [3] G. Sridevi, G. Sudarshan, A. Shivaraj, "Performance of geocell and geogrid reinforced weak subgrade soils," *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2019*, vol. 5, pp. 273-283, doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-33-6466-0>
- [4] S. B. Dhule, S. S. Valunekar, S. D. Sarkate, S. S. Korrane, "Improvement of flexible pavement with use of geogrid," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 14, pp. 269-279, 2011
- [5] R. D. Holtz, "Geosynthetics for soil reinforcement," *Frontier Technologies for Infrastructures Engineering*, 2009. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203875599.ch6>.
- [6] B. Canpolat, "Demiryolu üstyapı tasarımlarında geogrid kullanımı ve etkisi," Yüksek Lisans Tezi, FBE, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, AKÜ, Afyonkarahisar, 2023
- [7] Tensar International Limited, *Hat balastı ve alt-balastın mekanik olarak stabilizasyonu*, 2014, United Kingdom.
- [8] N. T. Ngo, B. Indraratna, C. Rujikiatkamjorn, "Modelling geogrid-reinforced railway ballast using the discrete element method," *Transportation Geotechnics*, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.04.005>
- [9] S. F. Brown, J. Kwan, N. H. Thom, "Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast," *Geotextiles and Geomembranes*, 2016, vol. 25, pp. 326-335, doi: 10.1016/j.geotexmem.2007.06.003
- [10] S. Aydın, "Karayollarında kullanılan farklı tür geogridler için kullanılacak dolgu miktarının araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, FBE, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Toros Üniversitesi, Mersin, 2019
- [11] T. K. Sert, A. Gurbuz, M. V. Akpınar, "A study on the effects of highway reinforcement on load distribution," *Sciennovation A Journal of Structural Science and Innovation*, vol. 2, pp. 51-58, 2020
- [12] H. Zanzinger, "Laboratory testing of geogrids and geocells used for the function stabilisation," *Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, pp. 43-66, May. 2019
- [13] S. Archer, "Subgrade improvement for paved and unpaved surfaces using geogrids," *Contech Construction Products Inc*, 2008
- [14] B. Ç. Karagül, "Yol dolgularının geogrid kullanılarak iyileştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, FBE, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İTÜ, İstanbul, 2007
- [15] S. K. K. Hussaini, B. Indraratna, J. S. Vinod, "Performance assessment of geogrid-reinforced railroad ballast during cyclic loading," *Transportation Geotechnics*, vol. 2, pp. 99-107, Nov. 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.11.002>
- [16] J. Sadeghi, A. R. T. Kian, H. Ghiasinejad, M. F. Moqaddam, S. Motevalli, "Effectiveness of geogrid reinforcement in improvement of mechanical behavior of sand-contaminated ballast," *Geotextiles and Geomembranes*, 2020, vol. 48, pp. 768-779, doi: 10.1016/j.geotexmem.2020.05.007
- [17] B. Ağbaba, "Baalstlı demiryolu ve balastsız demiryolunun ANSYS programı yardımıyla analizinin yapılması ve karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, FBE, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2019
- [18] Y. Özdemir, P. Voltr, "Analysis of the wheel and rail frictionless normal contact considering material parameters," *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, no. 15, pp. 101-109, 2016, doi: 10.17512/jamcm.2016.2.11
- [19] C. Gürer, T. Akıllı Törer, K. Aslantaş, "Yüksek hızlı hatlarda granüler altbalast yerine asfalt tabaka kullanımının sonlu elemanlarla modellenmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 14, pp. 39-48, Temmuz 2021, doi: 10.47072/demiryolu.867120
- [20] G. Leonardi, D. L. Bosco, R. Palamara, F. Suraci, "Finite element analysis of geogrid-stabilized unpaved roads," *Sustainability*, no. 12, pp. March 2020, doi: 10.3390/su12051929

- [21] V. H. Shamami, A. K. Khiavi, "Effect of temperature on geosynthetic rutting performance in asphalt pavement," *Petroleum Science and Technology*, no. 35, pp. 1104-1109, 2017, doi: 10.1080/10916466.2017.1305400
- [22] S. Skuodis, N. Dirgeliene, J. Medzvieckas, "Using triaxial tests to determine the shearing strength of geogrid-reinforced sand," *Studia Geotechnica et Mechanica*, no. 42, pp. 341-354, 2020, doi: 10.2478/sgem-2020-0005

Özgeçmiş



Hüseyin AKBULUT

Afyonkocatepe Üniversitesi, inşaat Mühendisliği Bölümünde Öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Karayolu/demiryolu üstyapı tasarımı ve Ulaştırma planlaması konularında çalışmalarına devam etmektedir.
E-Posta: hakbulut@aku.edu.tr



Buğra CANPOLAT

1988 yılında Ankara'da doğmuştur. İnşaat Mühendisliği alanında lisans eğitimini Selçuk Üniversitesi'nde, yüksek lisans eğitimini Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde tamamlamıştır. TCDD Yapım Dairesi Başkanlığı, 3. Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü, Afyonkarahisar ilinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.
E-Posta: bugracanpolat@tcdd.gov.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Hüseyin AKBULUT: Kontrol, İnceleme, Gözden geçirme ve düzenleme.

Buğra CANPOLAT: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-rijinal taslak hazırlama, Görselleştirme.