



Travers Altı Ped (TAP) Bileşeninin Ray, Travers ve Balast Bileşenlerinin Titreşim Davranışına Etkisinin Analizi için Sayısal Model Geliştirilmesi

Yusuf ÇATI^{*1}, Sercan GÖKÇELİ, Özgür ANIL², C.Ş. KORKMAZ³

¹ TCDD-Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi, Ankara, Türkiye

² İnşaat Müh. Bölümü., Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

³ Sığınmacılar ve Göçmenlerle Dayanışma Derneği, Ankara, Türkiye

*yusufcati@tcdd.gov.tr

Öz: Bu çalışmada, yol geometri bozulmasını azaltmak için kullanılan travers altı ped (TAP) bileşeninin demiryolu sisteminin titreşim davranışı üzerindeki etkisinin anlaşılması için matematiksel bir model metodolojisi geliştirilmiştir. Çalışmalar, Avrupa Birliği Ufuk 2020 Programı altında IN2TRACK projesinin 3 numaralı iş paketi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Geçiş bölgelerinde (köprü, tünel gibi) titreşim davranışı, farklı yapısal katılığa (stiffness) sahip kısımların varlığından dolayı daha kompleks bir hal almaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada spesifik özelliklere sahip bir geçiş bölgesi olan köprü seçilmiştir. Çalışmada, seçilen geçiş bölgesi için TAP'lı ve TAP'sız sayısal modeller geliştirilmiştir. Böylece, TAP bileşeninin yolun titreşim davranışı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Geliştirilen model, TAP bileşeni entegrasyonunun raylı sistem bileşen titreşimleri üzerindeki etkilerini makul doğrulukta niceliksel olarak tahmin edebilmektedir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, TAP'ın kullanımı ile travers bileşenindeki titreşimin 25% seviyelerinde azaldığı gözlemlenmiş olup diğer bileşenlerde titreşimin yükseldiği bulgusuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Travers altı ped, Titreşim, Geçiş bölgesi, Sonlu elemanlar modeli

Numerical Model Development for the Analysis of the Effect of Under Sleeper Pads (USP) Vibration Behavior of Rail, Traverse and Ballast Components

Abstract: In this study, a mathematical model was developed to calculate the effect of Under Sleeper Pad (USP) (which is used to reduce track geometry degradation) on vibration behavior of track components. The work was carried out within the scope of third work package of the IN2TRACK Project under European Union Horizon 2020 Programme. In the study, numerical models with and without USP were developed for the selected transition zone. Thus, the effect of the USP component on the vibration behavior of the track has been analyzed. The developed model is able to quantitatively predict track component vibrations which changes after USP component integration. According to the results of the study, it was observed that the vibration in the ballast component decreased by 25% with the use of USP, and it was found that the vibration levels in the other components are increased.

Keywords: Under sleeper pad, Vibration, Transition zone, Finite element model

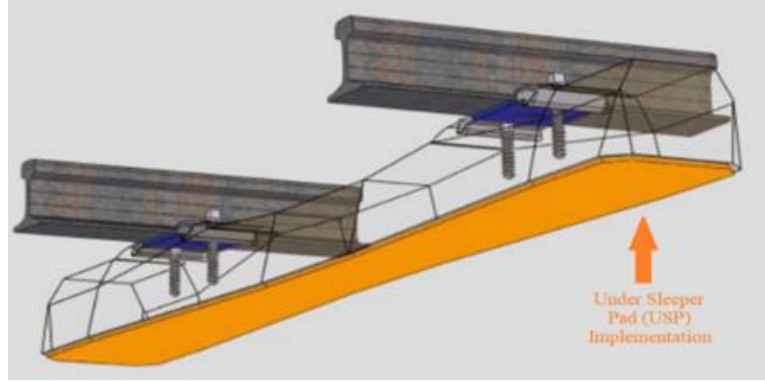
1. Giriş

Hat geometrisi bozulması sebebinin açıklayacak olursak balast tabakasında oluşan stres ve titreşim sonucu balast tanelerinin ilk bütünlüğü zamanla bozulur. Sonuç olarak da zamanla alıyman (yatay) ve nivelman (düşey) parametre hataları oluşur [1]. Araç geçişi sonucu oluşan titreşimler ve hat geometrisi arasındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araç geçişi ve hat geometrisi bozulması arasındaki ilişkiye balastın etkisi [1]

TAP elastomer bir malzemedir ve ray seletine benzer özelliklerdedir. Bu bileşen; travers altına, traversin imalatı esnasında monte edilmektedir. Şekil 2’de TAP’ın uygulaması verilmiştir. Amacı balastın maruz kaldığı mekanik stresi ve titreşimi azaltmaktır. Diğer bir işlevi ise farklı sertlik katsayısına sahip demiryolundaki geçiş bölgelerinde katılık (stiffness) farkının etkisini azaltmaktır. [2]



Şekil 2. Travers altına TAP uygulaması [2]

Geçiş bölgelerinde katılık farkından ortaya çıkan keskin titreşim değişiminin TAP entegrasyonu ile değişimini incelemek için spesifik özelliklere sahip bir köprü seçilmiştir.

Buna göre; bu çalışmada, seçilmiş köprünün titreşim davranışı değişikliğini öngörecektir şekilde bir sayısal model metodolojisinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu metodolojiyi kullanarak TAP’lı ve TAP’sız yollar için sayısal modeller meydana getirilmiştir ve gerçekçi tren yükleri altında simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Bu çalışmanın yazarlarının, 2020 yılında IN2TRACK projesi kapsamında yaptıkları çalışmaların detaylı ve daha kapsamlı halini referanstan inceleyebilirsiniz. Bu yayım asıl yayının bir kısmını kapsamaktadır. [3]

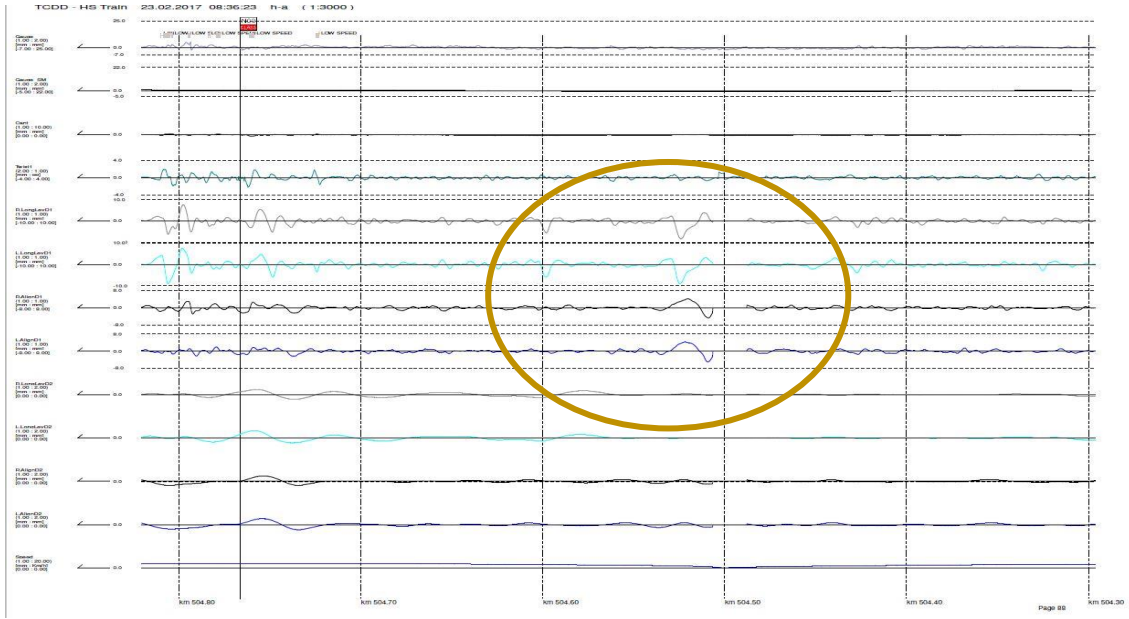
2. Geçiş Bölgesi

Ankara Temelli Bölgesindeki köprünün görünümü Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Temelli istasyonu civarında bulunan geçiş bölgesi

Bu kısımdaki bakım raporlarına göre, çalışmada ele alınan geçiş bölgesinde yenileme/buraj işlemlerinden sonra hızlanmış bir geometri bozulması görülmektedir, Şekil 4’te bu bozunumun bakım gerektirmeyen sınırlar içerisinde olmasına rağmen görece diğer bölgelere göre daha yüksek bir bozulma miktarına sahip olduğu verilmiştir.

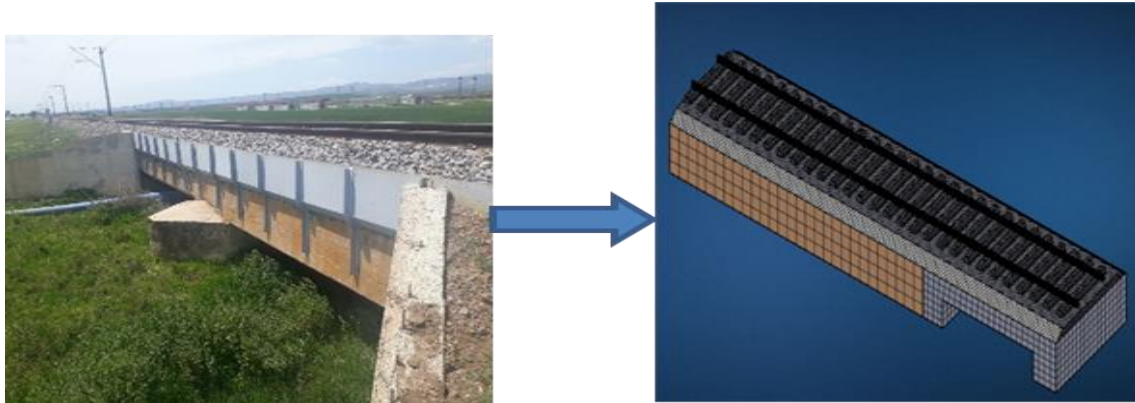


Şekil 4. Geçiş bölgesindeki yol geometrisinin ölçüm raporundan bir kısım

Oluşturulan modeller için bu geçiş bölgesindeki bileşenlerin ve bölgeden geçen banliyö treninin özellikleri dikkate alınmıştır.

3. Sayısal Model

Sayısal modeller, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarının (TCDD) alıyman (düz, kurb olmayan) balastlı yol tasarımına göre oluşturulmuştur. Şekil 5'te oluşturulmuş modelin görüntüsü verilmiştir. TAP'sız model, ray, ray seleti, travers, balast, köprü ve zeminden oluşur. TAP'lı model de ise diğer bileşenlere ek olarak TAP bulunmaktadır. Küçük elemanlar metodunun (FEM) kullanıldığı çalışmada; yazılım olarak, dinamik analizlerde yüksek hassasiyette doğru sonuçlar veren MSC Patran/Nastran kullanılmıştır [4].



Şekil 5. Geçiş bölgesi ve sayısal modeli

Tren geçişi sırasında yol geometri kusurları / düzensiz tekerlek profili veya tekerlek / ray düzensizlikleri gibi çeşitli etkileşimler meydana gelir. Bununla birlikte, demiryolu trafiğinde belirli bir dizi şeklinde aks geçişi her zaman mevcuttur. Bu nedenle; sayısal modellerin amacı, bu etki altındaki dinamik davranışın araştırılması ile sınırlandırılmıştır.

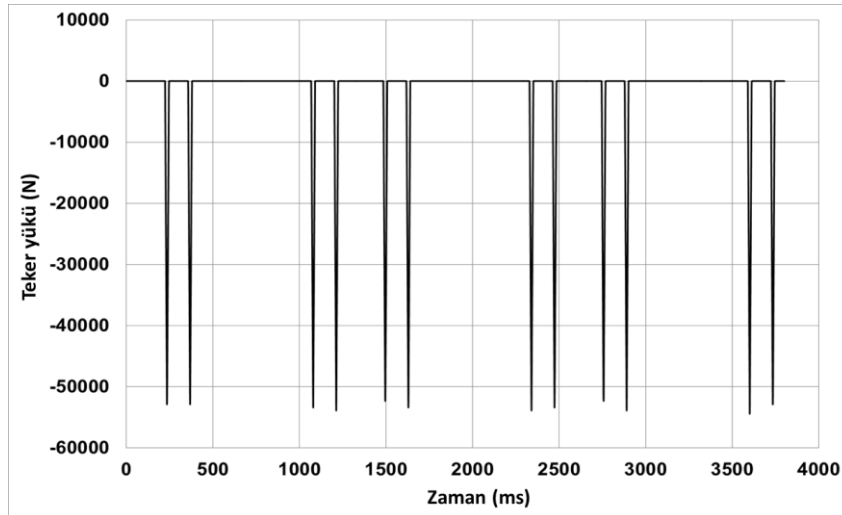
Modeldeki bileşenlerin malzeme parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Malzeme parametreleri ilgili TCDD bölümlerinden alınmıştır. TAP parametreleri ise Avusturya'da faaliyet gösteren

Getzner firması tarafından sağlanmaktadır. Modelde kullanılan sönümleme değerleri, kritik sönümleme oranının iki katı olan yapısal sönümleme katsayısıdır. Sert TAP'lar alıyman kısımlarda, yumuşak TAP'lar ise köprü kısmında uygulanmıştır.

Tablo 1. Modeldeki bileşenlerin malzeme parametreleri

Bileşen	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı (-)	Yoğunluk (kg/m ³)	Yapısal sönümleme katsayısı (-)
Ray	210x10 ³	0,3	7850	0,004
Ray seleti	14,9	0,45	1000	0,12
Travers	30x10 ³	0,2	2530	0,1
Sert TAP	3	0,45	1077	0,27
Yumuşak TAP	1,36	0,35	1077	0,27
Balast	130	0,2	1500	0,02
Köprü	30x10 ³	0,2	2530	0,1
Zemin	200	0,3	2000	0,04

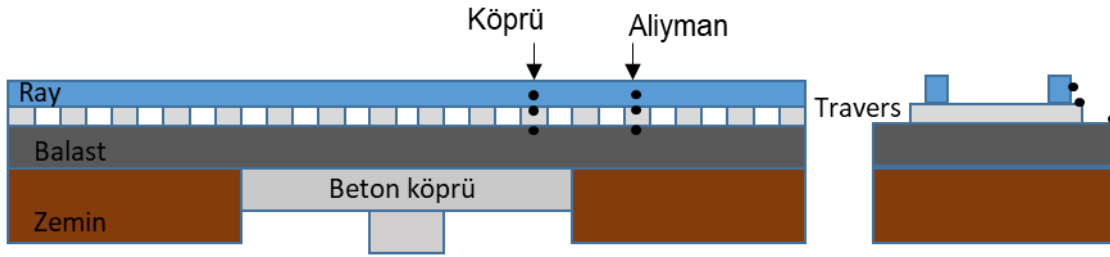
Modelde sadece düşey kuvvetlerin etkisi incelenmiştir. Kuvvet profili olarak geçiş bölgesinde, sıklıkla trafiği olan bir banliyö treninin aks yükleri dikkate alınarak, üçgen kuvvet profili uygulanmıştır [5]. Tren hızı 65 km/h olarak alınmıştır. Bu durumda rayın tepe noktasında bulunan düğüm noktalarına trenin geçişini gerçekçi şekilde verebilmek için Şekil 6'daki kuvvet profili oluşturulmuştur ve MSC Patran yazılımında input olarak kullanılmıştır.



Şekil 6. Rayın üstündeki herhangi bir sonlu eleman düğüm noktasının üzerinde geçen yük

Modellerde zaman adımı olarak 0,001 s değeri seçilmiştir. Bu değer simülasyon sırasında sabit olarak uygulanmaktadır. MSC Nastran denklemlerin hareketini çözmek için direk sayısal integrasyon yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem, çoğu dinamik doğrusal problem için yeterince güçlü ve doğru olduğu kanıtlanmıştır [6].

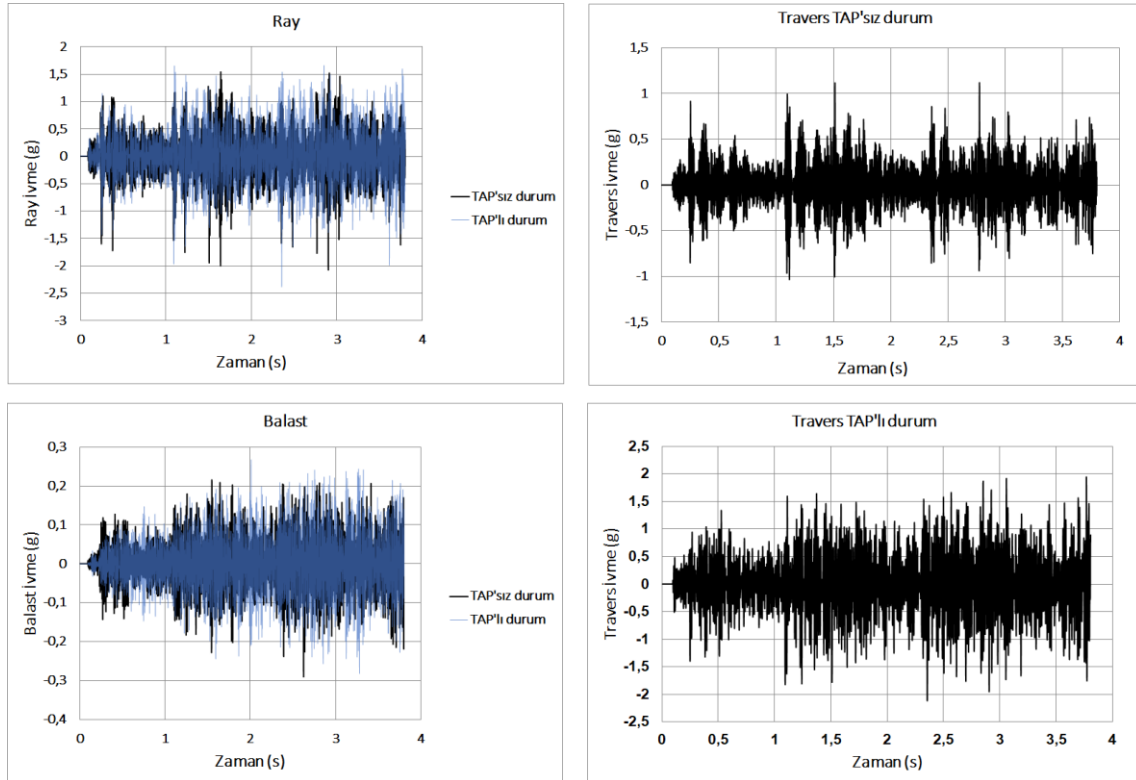
Geçiş bölgesi üzerinde ivme değerleri Şekil 7'de gösterilen şemadaki noktalardan alınmıştır. Simülasyon sonucu bu bölgelerden alınan ivme değerlerinin zamana bağlı değişimi simülasyon sonuçları ve değerlendirilmesi adlı kısımda verilecektir.



Şekil 7. Simülasyon sonucu elde edilen ivme kaydedildiği noktalar

4. Simülasyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Geçiş bölgesindeki köprü bölümünde, tren geçişi esnasında ve TAP'lı ve TAP'sız sayısal modellerin simülasyon sonuçları Şekil 8'de gösterilmektedir. Traverse ait ivme değerleri, TAP'lı ve TAP'sız modeller için ayrı olarak gösterilmiştir, çünkü fark bu şekilde daha görünür bir durumdadır. TAP uygulamasıyla ray ivme seviyelerinin bir miktar yükseldiği görülmektedir. Travers ivme değerleri önemli ölçüde artmaktadır. TAP uygulamasıyla balast ivme değerlerinde belirgin şekilde bir azalma olduğu gözlemlenmektedir.

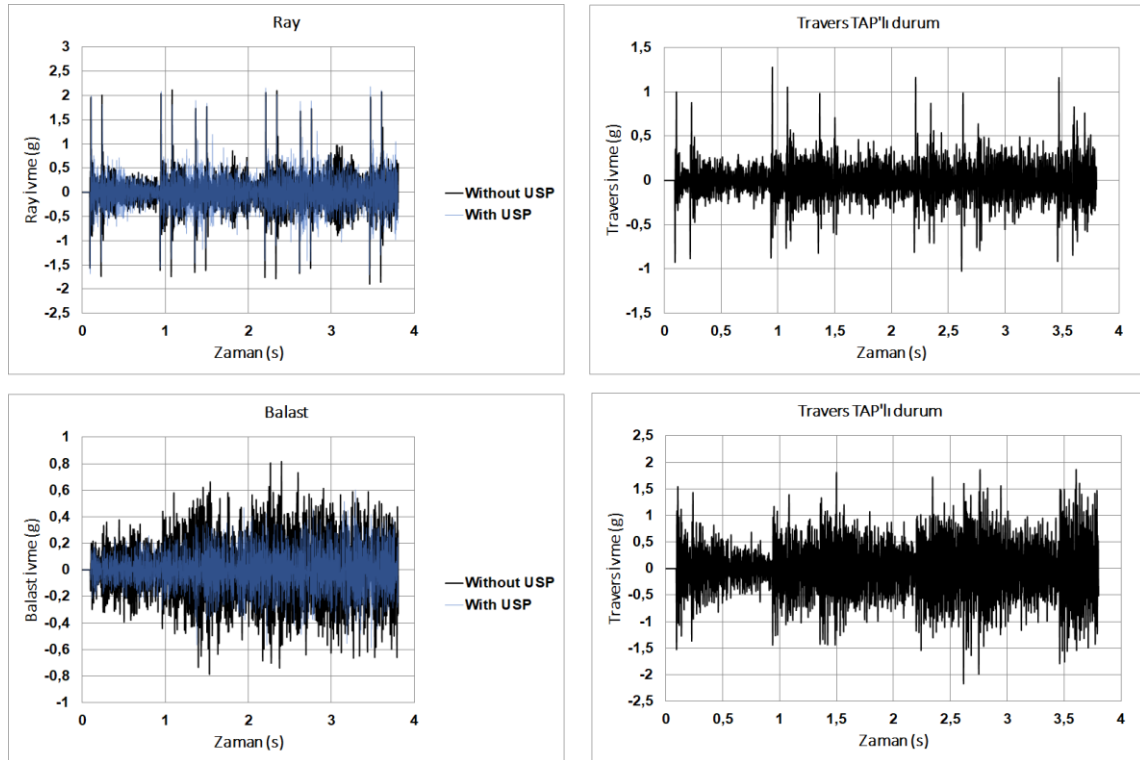


Şekil 8. TAP'lı ve TAP'sız modellerinde tren geçişi esnasında köprüdeki ray, travers ve balast bileşenlerinde meydana gelen ivmeler

Geçiş bölgesinin aliyman bölümünde, tren geçişi esnasında TAP'lı ve TAP'sız modellerin simülasyonlarından elde edilen sonuçları Şekil 9'da gösterilmektedir. Travers ivme değerleri, bir önceki şekildeki gibi ayrı olarak verilmiştir. Aliymanda ray, travers ve balast için TAP'ın etkisi benzerdir. Balast ivme değerleri bir miktar azalırken ray ve travers titreşimleri artmaktadır.

Aliyman ve köprü bölümündeki ivme seviyesi farklılıkları hakkında bir başka çıkarım daha yapılabilir. Aliymanda, balastın altında sadece zemin olması (köprüde balastın altında rijit beton bulunmakta iken) bu kısımdaki toplam eşdeğer sertliğin düşük olmasına ve bunun sonucu olarak

tepe genliklerinin köprü bölümünden daha yüksek ve ayırık bir şekilde ortaya çıkmasına sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 9. TAP'lı ve TAP'sız modellerinde tren geçişi esnasında aliymandaki ray, travers ve balast bileşenlerinde meydana gelen ivmeler

Tablo 2’de, TAP’sız ve TAP’lı durumdaki azami ivme (g) değerleri karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüleceği üzere balast bileşenindeki ivme değerleri önemli oranda azalırken, ray ve travers bileşenlerinde artış vardır. Bu sonuç, TAP’lı durumda, TAP tarafından desteklenen ray ve travers bileşenlerinin TAP’sız duruma göre daha yumuşak bir bileşen ile desteklenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır ve dinamik sistem davranışına uygun bir olgudur. TAP bileşeni, balasta gelen ivmeleri bir miktar sönümlerken ray ve travers bileşenlerinde ivme artışına sebep olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 2. TAP’sız ve TAP’lı durumdaki azami ivme (g) değerlerinin karşılaştırılması

Kısım	Bileşen	TAP’sız durum	TAP’lı durum
Köprü	Ray	1,51	1,65
	Travers	1,11	1,93
	Balast	0,28	0,21
Aliyman	Ray	2,08	2,18
	Travers	1,27	1,86
	Balast	0,82	0,60

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, TCDD yol ölçüm raporlarına göre hızlandırılmış hat geometrisi bozulmasına sahip bir geçiş bölgesi için küçük elemanlar modeli geliştirilerek analiz yapılmıştır. Bu metodoloji ile TAP’sız ve TAP’lı geçiş bölgesi özellikleri göz önüne alarak iki sayısal model tasarlanmıştır. Modellerde, gerçekçi şartlara oldukça yakın bir şekilde geometrik, fiziksel ve tren yük parametreleri kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçları, TAP'lı durumda ray-travers titreşimleri ile balast titreşimleri arasında bir takas olduğunu açıkça göstermektedir. TAP'lı durumda, balast bileşenindeki titreşimler azalırken travers bileşenleri yüksek derecede bir ivmeye/titreşime maruz kalmaktadır. Diğer yandan, bu çalışmanın önemli bir çıktısı olarak, TAP bileşeninin balast titreşimleri üzerinde önemli oranda olumlu etkisinin olduğunu ve bu nedenle yol geometrisinin bozulma hızını azaltma etkisinin olduğu görülmektedir. Fakat TAP'ın ray ve özellikle travers üzerindeki olumsuz etkilerinin sebep olacağı durumların ayrıca incelenmeye tabi tutulması gerektiği de göz önüne alınmalıdır.

Çalışmanın iyileştirilmesi açısından bazı öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Sayısal modeller mümkün olduğunca saha verileri ile karşılaştırılmalı ve buna göre modeller üzerinde iyileştirmeler yapılmalıdır.
- Ray seleti ve TAP bileşenleri, elastomer malzeme olduklarından dolayı bu bileşenlere uygun visko-elastik malzeme parametreleri elde edilmeli ve visko-elastik davranış gösterecek şekilde modellenmelidirler.

Teşekkür

Çalışma da emeği geçen çalışma arkadaşlarımız Mehmet KELEK, Umut BİÇER, Bayram GÜNEŞ ve Fatih AYSU'ya en içten teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, bu çalışmanın bu dergide yayımlanmasında yardımcı olan ve değerli önerilerinden dolayı DATEM Malzeme Teknolojileri ve Demiryolu Araçları Müdürü Sayın Çetin TEKİN'e şükranlarımızı sunarız.

Kaynakça

- [1] E. Selig ve J. Waters, “*Track Geotechnology and Substructure Management*,” ICE Publishing, 1994.
- [2] H. Loy ve A. Augustin, “Minderung von Erschütterungsemissionen und sekundärem Luftschall durch Schwellenbesohlungen – Wirkungsweise und Erfahrungen,” *ZEV rail Glas. Ann.*, vol. 139, 2015.
- [3] Y. Çatı , S. Gökçeli, Ö.Anıl ve C.Ş Korkmaz, “Experimental and numerical investigation of usp for optimization of transition zone of railway,” *Engineering Structures*, vol. 209, 2020
- [4] MSC, “*Nastran Reference Manual*,” 2018.
- [5] H. Jiang, X. Bian, C. Cheng, Y. Chen, ve R. Chen, “Simulating train moving loads in physical model testing of railway infrastructure and its numerical calibration,” *Acta Geotech.*, vol. 11, no. 2, pp. 231–242, 2014, doi: 10.1007/s11440-014-0327-y.
- [6] G. Kumaran, D. Menon, ve K. K. Nair, “Dynamic studies of railtrack sleepers in a track structure system,” *J. Sound Vib.*, 2003, doi: 10.1016/S0022-460X(02)01581-X.

Özgeçmiş



Yusuf ÇATI

1987 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliğinde, Yüksek lisansını ise Almanya Duisburg-Essen Üniversitesi Hesaplamalı Mekanik master programında tamamlamıştır. Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği anabilim dalında doktora eğitimine devam etmektedir. TCDD Genel Müdürlüğü DATEM İşletme Müdürlüğünde çalışmaktadır.

E-Posta: yusufcati@tcdd.gov.tr

**Sercan GÖKÇELİ**

1986 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliğinde, Yüksek lisansını ise Hacettepe Üniversitesi Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim dalında tamamlamıştır. TCDD Genel Müdürlüğü DATEM İşletme Müdürlüğünde çalışmaktadır.

E-Posta: sercangokceli@tcdd.gov.tr

**Özgür ANIL**

1975 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü, Yüksek lisans ve Doktora eğitimini Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği anabilim dalında tamamlamıştır. Aynı bölümde, öğretim üyesi olarak, 2004 – 2008 yılları arasında Yrd. Doç. Dr. Unvanı ile, 2008 – 2014 yılları arasında Doç. Dr. unvanı ile ve 2014 yılından itibaren Prof. Dr. Unvanı ile çalışmalarını sürdürmektedir. Özgür ANIL, 2014 yılında Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), Genç Bilim İnsanlarını Desteleme Programı Ödülü kazanmıştır.

E-Posta: oanil@gazi.edu.tr

**Canan ŞİŞMAN KORKMAZ**

1979 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Fatih Üniversitesi Fizik Bölümü ve Yüksek Lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde tamamlamıştır. 2005-2007 yılları arasında ODTÜ Fizik Bölümü'nde, 2007-2016 yılları arasında TÜBİTAK'ta Bilimsel Programlar Uzmanı olarak görev yapmıştır. Proje yöneticisi olarak çalışmaktadır.

E-Posta: canan.korkmaz@sgdd-asam.org

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tüm yazarların eşit oranda katkısı olmuştur.