



## Tren Tekerlek Düzleklerinin ve Tekerlek Hasarlarının Oluşumlarına ve Etkilerine Genel Bakış

Kamil Furkan TANER \*<sup>1</sup>, Niyazi Özgür BEZGİN<sup>1</sup>

*1 İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, , Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul, Türkiye*

\* *furkantaner96@gmail.com*

*(Alınış: 29.11.2018, Kabul: 29.11.2018)*

**Özet:** Demiryolu araçlarının tekerleklerinde meydana gelebilen tekerlek düzlükleri, demiryolu işletmecileri için önemli bir sorun oluşturmaktadır. Tren hareketi ile meydana getirdikleri yüksek kuvvetler ile gerek demiryolu aracına gerekse demiryolu hattına verdikleri hasarlardan dolayı oluşumlarının dikkatli bir şekilde takip edilmeleri ve belirli sınırlara ulaşmadan giderilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, tekerlek düzlüklerinin oluşumları ve etkileri genel hatları ile incelenecektir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, tren, tekerlek, tekerlek düzlüğü, aşırı fren, dinamik darbe kuvvetleri

### An Overview of Train Wheel Flats and Wheel Damages and Their Effects

**Abstract:** The wheel flats that may on train wheels create a significant problem for railway operators. Flats may generate high dynamic impact forces on railway tracks with train movement that may damage the track and the railway vehicles. Therefore, the development of wheel flats must be carefully monitored and prevented from reaching certain limits. This study presents an evaluation of the occurrences and effects of wheel flats.

**Key words:** Railway, train, wheel, wheel flat, over brake, dynamic impact forces

### 1. Giriş

Demiryolu işletmeciliğinde en çok karşılaşılan sorunlardan bir tanesi tekerlek düzlükleridir. “Düzleşme noktaları (flat spot)” veya “tekerlek düzlükleri (wheel flats)” demiryolu tekerleklerinde oluşan bir kusurdur. Düzleşme noktalarının ve tekerlek düzlüklerinin oluşmasında pek çok etken bulunmaktadır. Bu etkenler arasında; tren hareket halindeyken tren tekerlerinin kilitlemesine yol açan kayma durumları, acil durum frenlerinin gereksiz kullanılması, aşırı frenleme gibi durumlar yer almaktadır [1]. Ayrıca, tekerlek yükü, trenin hızı, ray profilinin şekli, ray çeliğinin sertliği, tekerleğin ray üzerindeki konumu, tekerleğin malzemesi, tekerlek/ray arasındaki statik ve dinamik sürtünme katsayıları gibi faktörler de düzlüklerin yapılarını, konumlarını ve boyutlarını etkileyen etkenlerdendir. Şekil 1’de bir tekerlek düzlüğü görülmektedir [2].



Şekil 1. Tekerlek Düzlüğü [3].

Hareket esnasında tren tekerleğinin kilitlenmesi durumunda tren tekerleği ray boyunca kayar ve kasnağının ray ile temas eden kısmı aşınır. Bunun sonucunda tekerlek düzlüğü ve düzleşme noktaları oluşur.

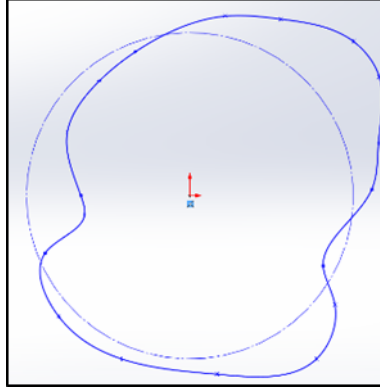
Aşırı frenleme ile birlikte, raylardaki kirlilik, yaprak, don, gress, şiddetli kar, yetersiz adezyon kaymaya yol açan sebeplerdendir[4]. Tekerlek kilitlenmelerine neden olan ilginç bir olgu, ormanlık ülkelerde görülür. Özellikle sonbahar aylarında yaprakların hat üzerine dökülme miktarı artar. İngiltere, Kuzey Amerika, Kanada ve Avrupa'nın bazı bölgelerinde yoğun yaprak dökülmesi ile karşı karşıya kalan ülkelerde dökülme operatöre büyük zorluk yaratır, trenin gecikmesine bile sebep olabilir hatta trenin servise kaldırılması ile sonuçlanabilir. Bu durumdan ötürü tren bazı duraklarda yavaşlayabilir ve yolculuk olağan süreden daha fazla sürebilir. Bu yüzden “yaprak döküm tarifesi (leaf timetables)” adı altında gecikme süresi uygulanır. Raya düşen yapraklar rayı kayganlaştırır, bu durum trenin düşük adezyonla karşılaşmasına yol açar ve tren durduğunda tekerlekler kayar. Kaymadan dolayı tekerleklerde hasarlar oluşabilir. Tekerlek kayma önlemi sistemleri (WSP) trenin frenleme ya da ivmelenme sırasında kaymasını önlemek ve belirlemek için kullanılan otomatik sistemlerdir. Bu sistemler sadece tren ile ray arası adezyonu optimize ederler. WSP sistemi tren tekerleklerini dururken korumaya çalışır ancak tekerlek ani bir şekilde kaygan raydan kuru raya geçişte ya da kuru raydan kaygan raya geçişte, frenleme esnasında gene düzlük oluşabilir [1] . Kuzey Amerika da düzleşmeden kaynaklı 125,000 tekerin değişimi için yıllık 90,000,000 \$ harcamaktadır[5].

Tekerdeki düzlükten dolayı, hasarlı tekerler rayları etkiledikçe ray üzerinde belirli bir frekansta gürültülü şekilde yolcuların duyabileceği ses çıkarırlar. Bu ses düzlüğün köşe noktasının raya vurması sonucunda ortaya çıkar. Oluşan ses ve yüksek frekanslı-titreşim yolculara rahatsızlık verir[6]. Ayrıca ray hattına yakın yerde yaşayan insanların konforunu düşürür.

Yüksek hızlı yolcu trenleri için tren düzlük sınırı 30 mm, yük trenleri içinse 50 mm'dir. Eğer tekerlek düzlüğü küçük ise kullanılmaya devam edilebilir. Daha sonra kusur tekerlek-torna tezgâhı ile düzeltilir. Eğer düzlük çok büyük ise erimiş metal lifleri düzleşme noktasının bir noktasında sıkışabilir, bu da dönme yüzeyi ve fren bloğu arasındaki yetersiz mesafe yaratır ve tekerin dönmesini imkânsız hale getirir. Bu koşulda acilen tekerlek takımı değiştirilmelidir. 10 Haziran 1971 tarihinde[7] Salem,

Illinois yakınlarında yolcu treni raydan çıkmıştır. Ulusal Ulaştırma Güvenlik Kurulu (NTSB) araştırması sonucunda dingil yatağında kilitlenen dingil yüzünden oluşan tekerlek düzlüğünden dolayı trenin hat üzerinde kılavuzlanması bozulmuş tren devrilmiştir. Bu kaza sonucunda 11 insan ölmüş ve 163 kişi yaralanmıştır[7].

Şekil 2 de tekerlek düzgünsüzlüğü adı verilen bir hasar mevcuttur. Bu tekerlek form hatası araçlarda yüksek gerilmeler oluşturur ve tren hızlandıkça çok büyük kuvvet yaratır ta ki oluşan kuvvet raya zarar verecek düzeye ulaşana kadar. Eğer tekerler içlerinde küçük çatlaklar veya hasarlar barındırıyorsa, en son noktada rayı kırarak boyutlara bile ulaşabilir[1].



Şekil 2. Tekerlek düzgünsüzlüğü (Out of roundness)

Bunlara ek olarak tekerlek düzlükleri bazı araştırmacılar tarafından, “kayma düzlüğü”, “kısa dalga boyu düzlüğü (shortwave length flat)” veya “geleneksel düzlük” şeklinde ifade edilebilir. Bu düzlükler genelde 2,5cm ile 7,6cm uzunluğuna sahiptir[8]. U.S. Federal Demiryolu İdaresi ve Kanada Ulusal Demiryolu “uzun dalga boyu düzlüğü (long wavelength)” şeklinde yeni bir düzlük kavramı tanımladı (30 ile 41cm uzunluğunda)[6]. Tekerlek hasarlarından dolayı Amerikan demir yolu idaresi[9] (AAR Interchange Rule 41 [10]) hasarlar için bazı sınırlar koymuştur. Bu sınırlara göre belirli uzunluk ve derinlikteki kusurlara sahip trenlerin hizmete çıkması kısıtlanmalı veya kusur giderilene kadar durdurulmalıdır.[11] Yapılan deneysel araştırmalar[12] ile elde edilen sonuçlara göre kısıtlanma uzunluğu içerisinde bulunmayan tekerlek hasarlarının, kısıtlama içerisinde olan bazı hasarlardan daha büyük etki kuvvet değerlerine sahip olabildikleri görülmüştür[12]. Ek olarak, tekerlek hasarlarının otomatik tespitini sağlayan aletler yıllardır araştırma konusudur[13] ve “Salient” gibi bazı detektörler servis içerisinde kullanılmaktadır[12]. Tercihen, zamandan kazanmak ve masraftan kısmak için, trenin yavaşça geçeceği yerler olan tren-yıkama istasyonlarının sonuna veya bakım atölyelerinin girişlerine denetleme sistemleri yerleştirilmelidir. Tren hasarını belirleyen otomatik sistemler 3 farklı sınıfta toplanabilir: “Ölçüm cihazları ile donatılmış raylar (instrumented rail)” darbe kuvvetlerini ölçen (Salient Sistemleri), Tekerdeki çap değişimlerini ölçen, Ultrasonik hasar tespiti ve ölçümü yapan[14].

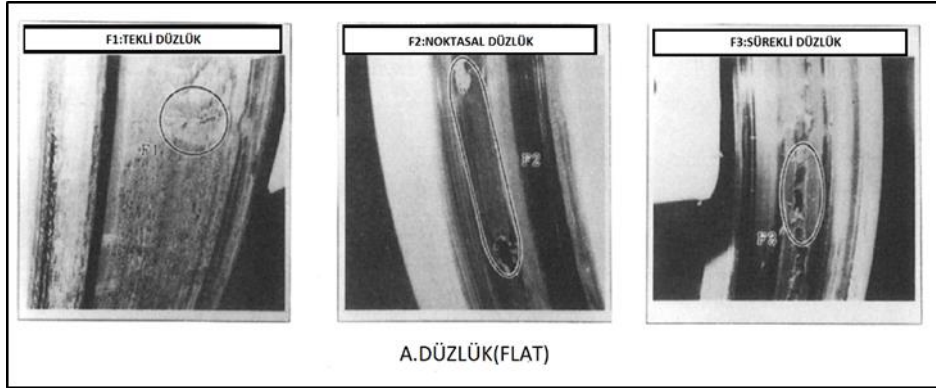
## 2. Tekerlek Hasarlarının Sınıflandırılması

Tekerlek hasarlarının sınıflandırılması ORE (Office de Recherches et d’Essais)’den alıntılanmıştır ve Şekil 3 de verilmiştir. ORE’ye göre hasarlar “düzlekler (flat)”, “kabuklanma (shelling)” ve “termal çatlak (thermal crack)” adı altında 3 gruba ayrılır.[15]

Sınıflandırma	Sembol	Mod
Düzlük(Flat)	F <sub>1</sub>	Tekli Düzlük
	F <sub>2</sub>	Noktasal Düzlük
	F <sub>3</sub>	Sürekli Düzlük
	F <sub>x</sub>	Diğer Düzlükler
Kabuklanma(Shelling)	S <sub>1</sub>	Pul-pul Kabuklanma
	S <sub>2</sub>	Ölçekli Kabuklanma
	S <sub>3</sub>	İnce yüzeyle Kabuklanma
Termal çatlak(Thermal crack)	T <sub>1</sub>	Kıl şeklinde Termal Çatlak
	T <sub>2</sub>	Ağ şeklinde Termal Çatlak
	T <sub>3</sub>	Kıvrımlı Termal Çatlak

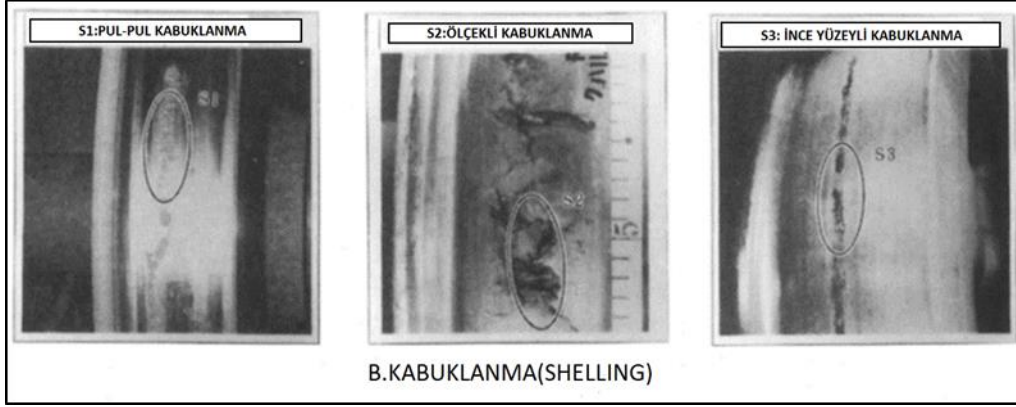
Şekil 3. Tekerlek hasarlarının sınıfları [15].

Şekil 4 de görüldüğü gibi düzlükler, “tekli (single)”, “noktasal (spot)”, “sürekli (continuous)” düzlük şeklinde verilmiştir. Tekli düzlük F1 sembolü ile gösterilir ve aksın kitlenmesi sonucunda oluşan oval alanlara sahip hasarlardır. Genellikle “treylar akslarında (trailer axles)” görünür. Noktasal düzlük hatası F2 sembolü ile gösterilir ve küçük tekli düzlükler kümesinden oluşur. Sürekli düzlük F3 sembolü ile gösterilir ve uzun ve silindirikdir, tekerlek kitlenmeden aksın kayması sonucunda oluşur. Tekerlek malzemesinin “plastik akışı (plastic flow)” gerçekleşir.



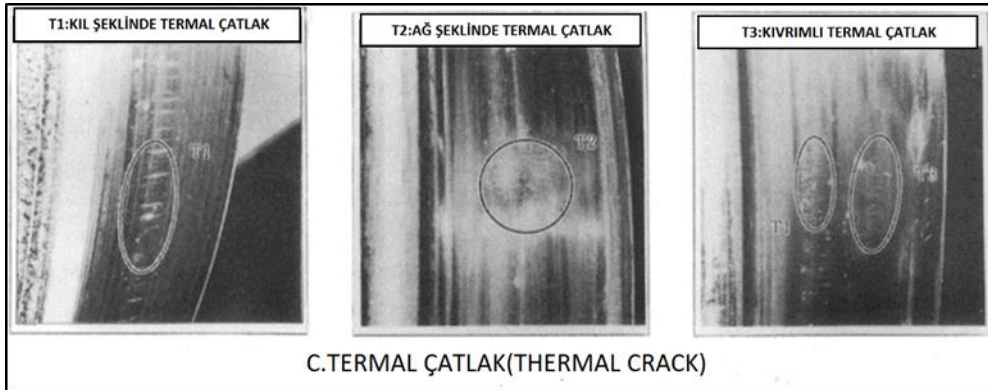
Şekil 4. Düzlüklerin çeşitleri [15].

Şekil 5 de görüldüğü gibi kabuklanma hasarları shelling), “pul-pul kabuklanma (flake shelling)”, “ölçekli kabuklanma (scale sheeling)”, “ince yüzeyle kabuklanma (thin skin shelling)” şeklinde 3’e ayrılır. Kabuklanma kökeninde düzlükler ve termal çatlakları barındırır. “Temperlenmiş martenzit’in (tempered martensite)” yüzey alanında termal çatlaklar birbirine bağlanır. Pul-pul kabuklanma S1 sembolü ile gösterilir ve 1mm derinlikte oyuk meydana getirebilir. Suyun veya kar varlığından dolayı, bu tarz çatlaklar tekerlek içerisinde kolaylıkla genişleyebilir. Bu göçme hasarı büyür ve ölçekli kabuklanma hasarını oluşturur. Ölçekli kabuklanma hasarı S2 sembolü ile gösterilir. İnce yüzeyle kabuklanma ince ve sıgıdır, tekerlek çevresi boyunca 10mm genişliğe kadar oluşabilir. Bu hasar da S3 sembolü ile gösterilir.



Şekil 5. Kabuklanmanın çeşitleri [15].

Şekil 6 da termal çatlaklar mevcuttur ve “kıl şeklinde termal çatlak (hairy crack)”, “ağ şeklinde çatlak (meshy crack)” ve “kıvrımlı termal çatlak (meandering crack)” diye 3’e ayrılır. Çevresel yönde olan büyük fren kuvvetinden dolayı tekerleklerde çekme gerilmesi oluşur. Bu koşul altında, aks yönüne paralel düz bir çizgi çatlağı oluşur. Bu hasara kıl şeklinde termal çatlak denir. Bu çatlak türü T1 sembolü ile gösterilir. Artık çekme gerilmesi “ısı noktasının (heat spot)” yüzeyinde izotropiye sebep olduğunda ağ şeklinde termal çatlak oluşur. Bu hasar T2 sembolü ile gösterilir. Tekerleğin kurplarda kaymasından dolayı tekerlek üzerindeki yatay sürtünme kuvveti çeşitli yönlerde çekme gerilmesi yaratır ve bu koşul altında tekerleğin üzerinde rastgele yönde hasar oluşur buna da kıvrımlı termal çatlak hasarı denir. Bu hasar da T3 sembolü ile gösterilir.



Şekil 6. Termal çatlakların çeşitleri [15].

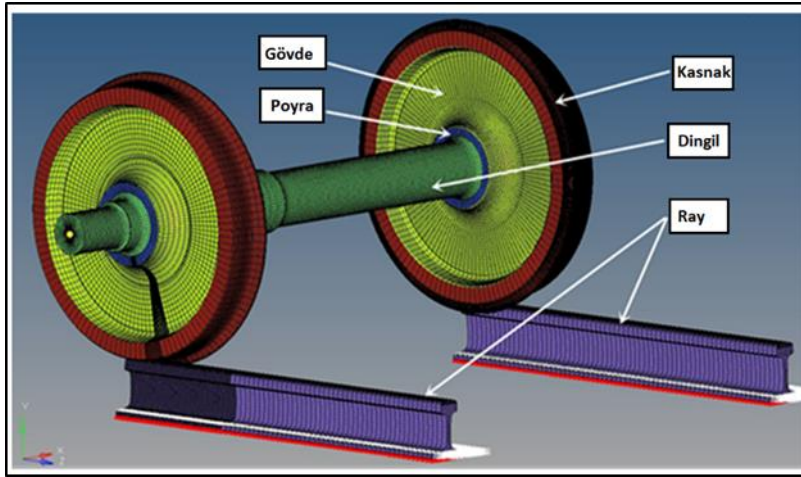
### 3. Tekerlek Düzlüklerinden Kaynaklanan Kuvvetler

Ray üzerindeki kilitli tekerlek hareketi belli bir hızda sürtünme kuvveti yaratır. Bu sürtünme kuvveti tekerlek ve rayın temas yüzeyindeki belirli bir dinamik sürtünme sabiti ve tekerleğin taşıdığı zati ve dinamik kuvvetler ile ilgilidir. Oluşan bu büyük kuvvetler tekerin taşıdığı statik yük değerine, trenin hızına, tekerlek çapına, ayrıca tekerlek düzlüklerinin konumuna ve yerine bağlı olarak demiryolu hattına ve tekere etki eder. Tekerlek düzlüklerinden kaynaklı tekrarlı dinamik yükler demiryolu bileşenlerinde ve araçlarda hasara ve göçmeye sebep olur. Son yıllarda, teker, demiryolu hattı ve araçların arasındaki dinamik etkileşim geniş çalışmaların konusu olmuştur[16].

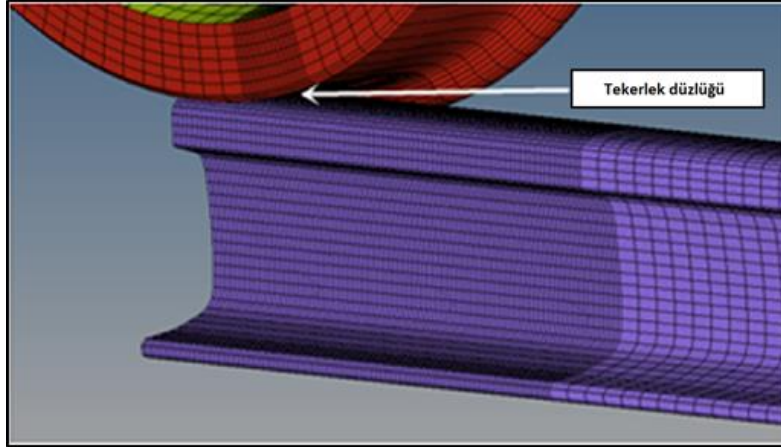
Tren düzlükleri konusunda 1950’lerin sonlarından bu zamana kadar geniş bir çalışma alanı mevcuttur [17]. Düzlükten kaynaklı teker/ray tepkisini öngörmek için Hertzian

temas modeli [18, 19] ya da Kalker'in değişimsel yöntemini esas alan Non-Hertzian temas modeli [20] vasıtasıyla sayısız teorik model önerilmiştir. "Kararlı haldeki(steady-state)" teker/ray temas durumu için teker/ray temasının matematiksel modeli Hertzian temas teorisindeki varsayımlar ile yapılır. Bu teorinin ismi 1882 de teoriyi geliştiren Alman bilim adamı Heinrich Hertz'den gelmektedir[21].

Tekerlek/ray arasındaki ilişkiyi incelemek için son zamanlarda sonlu elemanlar yöntemi(FEM) kullanılmaktadır. Yüksek hızlar düşünüldüğünde tekerlek/ray dinamik etkileşimi tekerlek ve rayın ataletine ve temas eden unsurların geometrilerine, malzemelerine ve temas unsurlarının doğrusal olmayan özelliklerine bağlıdır. Şekil 7 ve 8 de, balastlı bir hat üzerinde 60mm düzlüğe sahip 2 teker, 1 dingil ve 2 ray içeren 3 boyutlu çalışmada, düzlük içeren teker/ray temas modeli ticari bir program olan Hypermesh ile yapılmıştır.



Şekil 7. Sonlu eleman modeline göre 60mm düzlüğe sahip tekerin ray ile ilişkisinin modeli[22].



Şekil 8. 60mm düzlüğe sahip teker/ray ilişkisinde düzlüğün büyütülmüş hali[22].

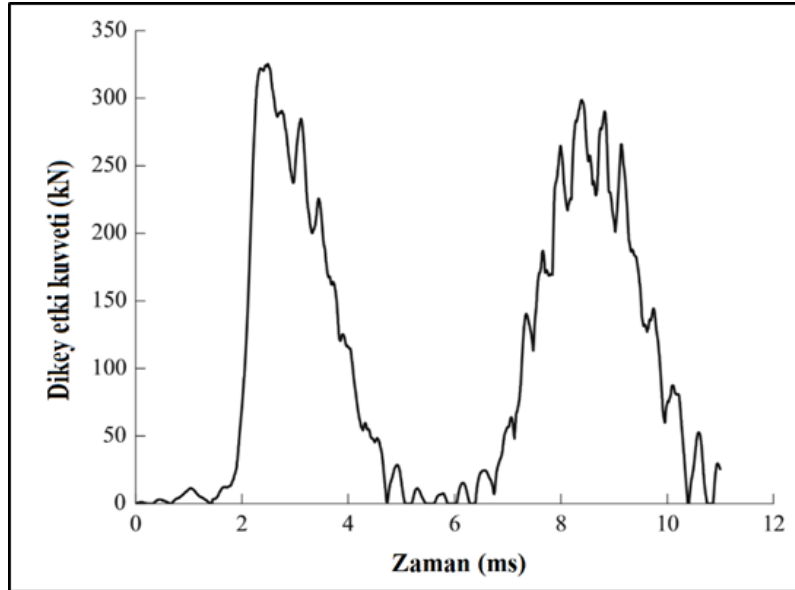
Simülasyon için kullanılan malzeme parametreleri Tablo 1 de verilmiştir ve teker/ray sistemine yerçekimi ivmesi dâhil edilmiştir. S1002CN tip teker kullanılmıştır ve tekerin yarıçapı 430 mm'dir. Ray 60kg/m, 1/40 eğimli çelik raydan oluşmaktadır. Teker/ray etki işleminin kısa sürmesinden dolayı,(yaklaşık birkaç milisaniye) etki yükünün rayın altındaki altyapı elemanlarına aktarılması için yeterli zaman yoktur bu nedenle modellemede ray doğrudan darbe yükünü taşır. Ray altındaki altyapı ihmal edilmiştir.

EN 13104 koşullarına göre, dingil yükünden dönüştürülen eş değer yükler statik araç ağırlığını temsil etmesi için simülasyona iki sabit kuvvet şeklinde uygulanmıştır. 17 t dingil yükü için en büyük kuvvetin değeri 110,41 kN ve en küçük kuvvetinin değeri 77.56 kN 'dir.

**Tablo 1.** Modellenen bileşenlerin malzeme özellikleri ve değerleri. [22].

Bileşenler	Elastik Modülü(GPa)	Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> )	Poisson Oranı	Akma Gerilmesi(MPa)	Tanjant Modülü(GPa)
Kasnak	213	7800	0.3	561	21
Gövde	216	7800	0.3	395	21
Poyra	213	7800	0.3	417	21
Dingil	206	7800	0.3	-	-
Ray	193	7800	0.3	525	19

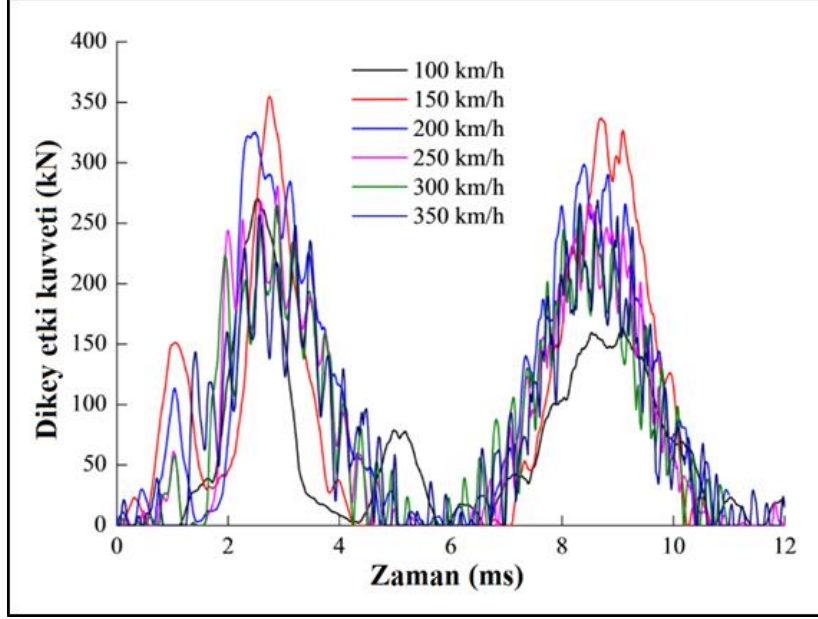
Şekil 9'da, 60 mm teker düzlüğüne, 200km/h tren hızına ve 17 t dingil yüküne sahip olduğu durum verilmiştir. Bu durumda teker/ray düşey etki kuvvetinin tepe noktası 2.5ms de meydana gelir ve değeri 325 kN'dir, ortalama statik dingil yükü 93,99 kN' den yaklaşık 3,5 kat fazladır. 2,5 ms den sonra etki kuvveti kademeli olarak sıfır değerine ulaşır. "Düşey dinamik temas kuvveti (vertical dynamic contact force)" dingil yükü ve yer çekimi kuvvetinden büyük olduğundan dolayı tekerlek ray arasında geçici bir ayırmaya neden olur. İkinci tepe noktası, teker düzlükte yuvarlandığında tekerin sağlam bölgesinin raya etkisinden dolayı oluşur. Bununla birlikte ikinci tepe noktası 300 kN değerinde 8,3ms de oluşmaktadır ve 0,923 kat daha fazladır.



**Şekil 9.** 200km/h tren hızı, 60mm düzlük ve 17 t dingil yükü için düşey etki kuvvetinin zamana bağlı ilişkisi[22].

Şekil 10'da 60 mm düzlüğe ve 17 t dingil yüküne sahip tekerleğin, düşey etki kuvvetinin tren hızına göre etkisini araştırmak için 6 farklı tren hızı (100, 150, 200, 250, 300 ve 350km/h) seçilmiştir ve düşey etki kuvvetinin tren hızına bağlı olarak zamana göre değişim grafiği verilmiştir. 6 farklı hız için düşey etki kuvvetinin tepkisi benzerdir ve en yüksek düşey etki kuvveti ile tren hızı arasında "tek düze olmayan bir değişim (non-monotonic)" vardır. Şekil 9'a bakıldığında, 150km/h eşit veya daha düşük hızlar için 325 kN değerine ulaşana kadar kuvvet tren hızıyla birlikte artar. Yani hız 150km/h

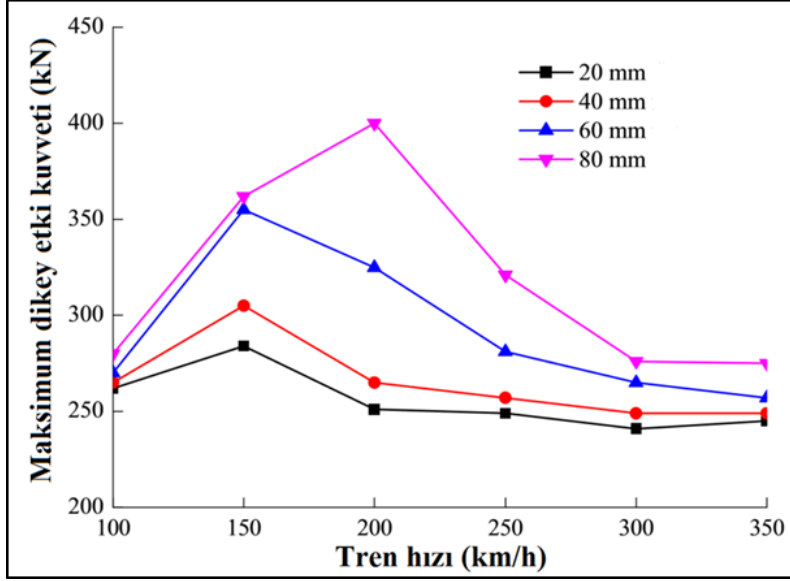
değerine ulaşıncaya kadar kuvvet onunla birlikte artar. Daha sonrasında kuvvet 350km/h hızına kadar yavaşça azalır.



Şekil 10. Farklı tren hızları için düşey etki kuvveti-zaman grafiği[22].

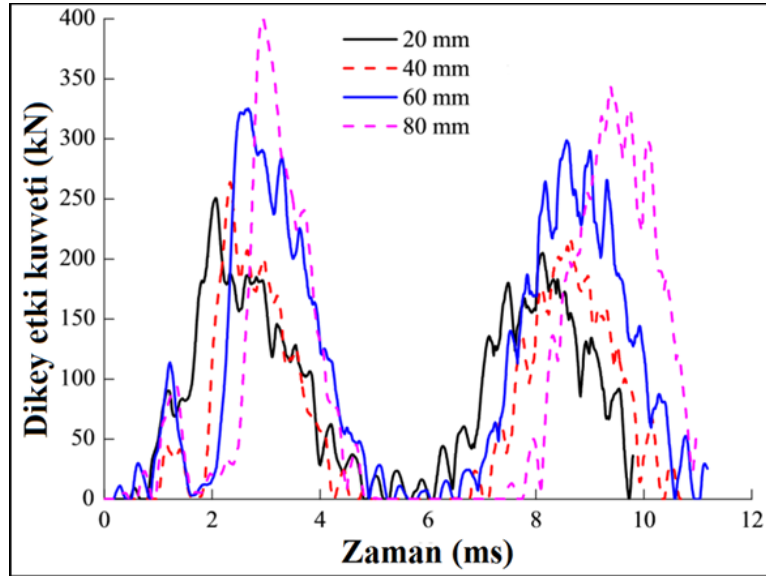
Şekil 11’ de en yüksek düşey etki kuvvetinin tren hızına bağlı olarak zamana göre değişim grafiği verilmiştir. Tüm düzlükler için en yüksek düşey etki kuvveti ile tren hızı arasında tek düze olmayan bir ilişki görünmektedir. Tekerlek düzlüğü 60 mm değerine eşit ve 60 mm değerinden küçük olduğunda (bkz.20 mm,40 mm), en yüksek düşey etki kuvveti tren hızı 150km/h değerinde oluşur. En yüksek düşey etki kuvvetinin pik değeri ise 80 mm düzlükte ve tren hızı 200km/h değerinde iken oluşur. Pik düşey kuvvet ile tren hızı arasındaki tek düze olmayan ilişki, farklı hızlardan kaynaklanan temas kaybı ile ilgili olabilir. Etki noktası ile “düzlük tepe noktası (flat tip)” birbirine yakındır. 20, 40, 60 mm düzlük uzunluğu için, tren hızı 150km/h değerinde iken etki noktası düzlüğün tepe noktasında yer alır bu yüzden bu hızda pik değeri elde edilir. Bununla birlikte 80 mm değerindeki tekerlek düzlüğünde ise etki noktasının, düzlüğün tepe noktasında olması için zaman gerekir bu sebepten 200km/h den daha büyük hızlar gerektirir.





Şekil 11. En yüksek düşey etki kuvvetinin farklı düzlük uzunluklarında tren hızına bağlı olarak değişimi[22].

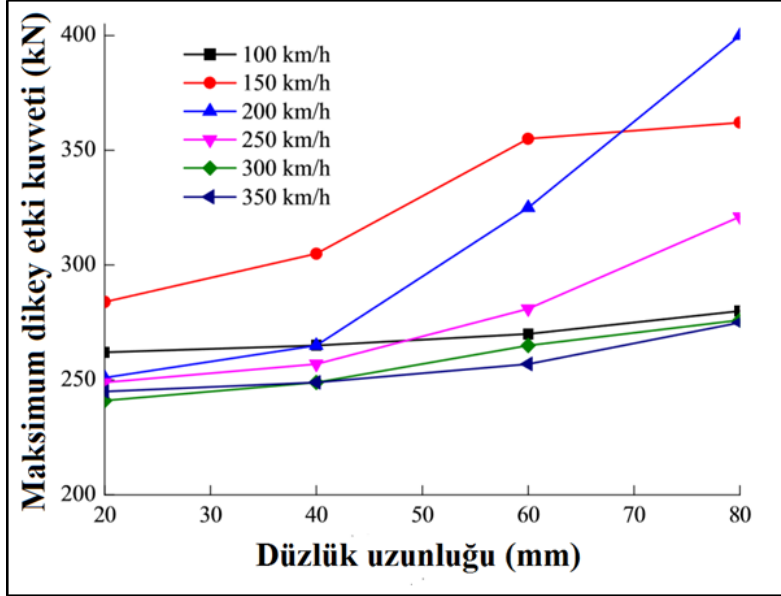
Şekil 12 de, 200km/h tren hızına ve 17 t dingil yüküne sahip olduğu durumda, 4 farklı düzlük uzunluğu seçilmiş ve bu düzlüklerden (20, 40, 60, 80mm) dolayı oluşan düşey etki kuvvetleri incelenmiştir. Şekil 11 de görüldüğü gibi düzlük uzunlukları arttıkça, en yüksek düşey etki kuvveti oluşur. En yüksek düşey etki kuvveti 400 kN ve 80mm düzlük için oluşmuştur. Hasarsız teker bölgesinin raya düşmesi sonucunda ikincil tepe noktası oluşur ve tekerlek düzlüğü arttığında ikinci tepe noktasının değeri de artar. Uzun teker düzlüğü büyük daha yüksek düşme mesafesine sebep olacak ve daha geç etki kuvveti oluşturacaktır.



Şekil 12. 200 km/h tren hızı için düşey etki kuvvetinin farklı düzlük uzunlukları için zamana bağlı olarak değişimi[22].

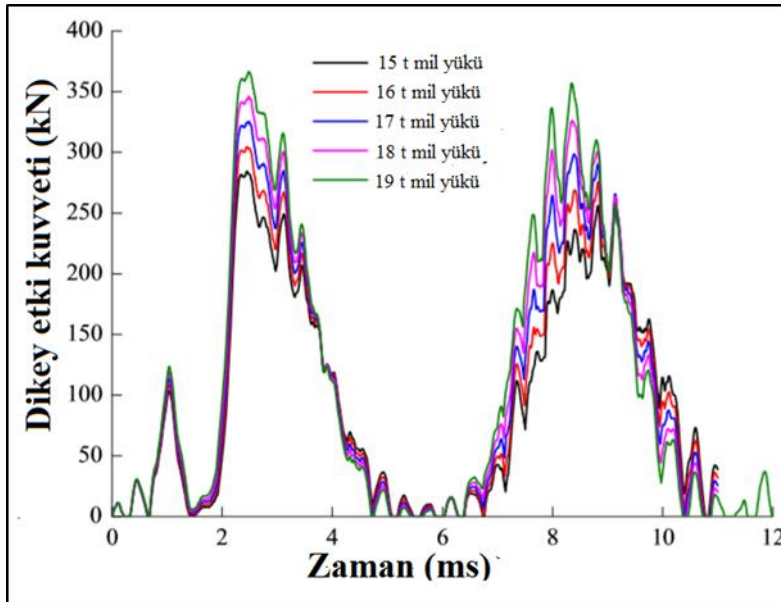
Şekil 13 de en yüksek düşey etki kuvvetinin tren hızına bağlı olarak tekerlek düzlüğüne göre değişimi gösterilmiştir. En yüksek düşey etki kuvveti ile tekerlek düzlük uzunluğunun arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. 150km/h – 250km/h değerlerinde

ve bu değerler arasında düzluğun uzunluğuna bağlı olarak en yüksek düşey etki kuvveti önemli değerlere ulaşır.



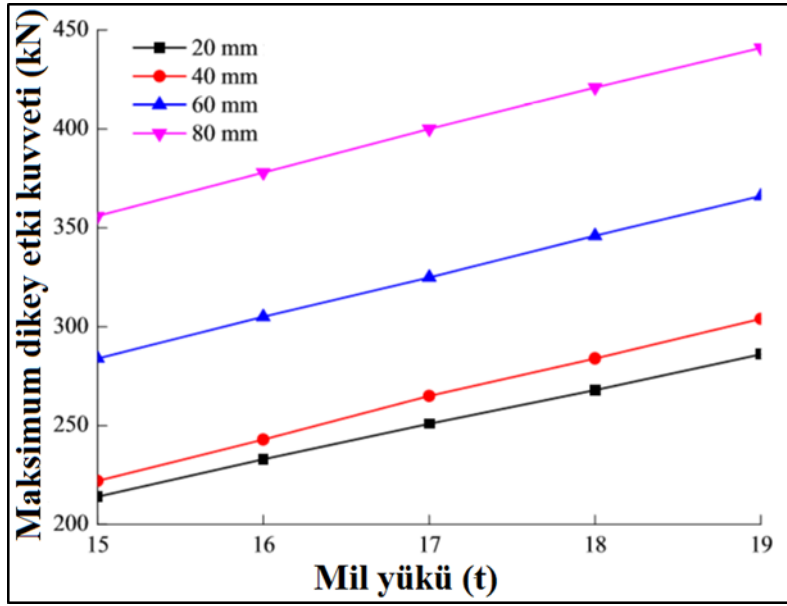
Şekil 13. En yüksek düşey etki kuvvetinin farklı tren hızları için tekerlek düzluğunun uzunluğuna göre değişimi[22].

Şekil 14’de 60mm düzlük uzunluğu ve 200km/h tren hızına sahip iken düşey etki kuvvetinin dingil yüküne bağlı olarak zamana göre değişimine bağlı grafiği verilmiştir. İncelenen her bir dingil yükünde, dingil yükü arttıkça oluşan düşey etki kuvveti de artmaktadır.



Şekil 14. 60mm düzlük uzunluğu ve 200km/h tren hızına sahip iken düşey etki kuvvetinin dingil yüküne bağlı olarak zamana göre değişimi[22].

Şekil 15’ de ise en yüksek düşey etki kuvvetinin, dingil yüküne ve farklı teker düzlük uzunluğuna bağlı grafiği verilmiştir. Her bir farklı düzlük uzunluğu için en yüksek etki kuvveti ile dingil yükü arasında lineer olarak artan bir ilişki vardır.



Şekil 15. Maksimum düşey etki kuvvetinin teker uzunluğuna bağlı olarak dingil yüküne göre değişimi[22].

## 5. Sonuç ve Yorum

Bu çalışmada, demiryolu mühendisliğinin önemli bir konusu olan demiryolu araçlarında oluşan tekerlek düzlüğü konusunda genel bir bakış kazandırılmaya çalışılmıştır. Tekerlek düzlükleri ve düzlüklerden dolayı oluşan dinamik yükler hakkında Türkçe bir kaynak bulunmamaktadır. Bu ihtiyaçtan dolayı bu çalışmaya gerek duyulmuştur.

Trenin tekerinde oluşan düzlükleri otomatik olarak belirleyen denetim sistemlerine ve çeşitlerine değinilmiştir. ORE (Office de Recherches et d'Essais)'ye göre teker hasarlarının sınıflandırılması yapılmış ve oluşan ana hasarlar tanıtılmıştır. Düzlüklerden dolayı oluşan dinamik kuvvetlerden ve bu kuvvetlerin tekerlere, araçlara, raya ve ray bileşenlerine verdikleri zararlarda değinilmiştir. Bu oluşan kuvvetlerin belirlenmesinde Hertz Deformasyon teorisinin kullanılabileceği gibi birçok ticari program ile de elde edilebileceğinden bahsedilmiştir.

“Liangliang Han, Ling Jing ve Kai Liu” tarafından Hypermesh ticari programı kullanılarak sonlu eleman yöntemi ile 3 boyutlu düzlük içeren teker/ray modelinin simülasyonu yapılmış ve yapılan analiz incelenmiştir. Tren hızının, düzlük uzunluğunun ve mil yükünün oluşturduğu, teker/ray dikey etki kuvvetinin tepkileri sırayla geniş bir aralıkta incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Hypermesh ile oluşturulan model üzerinden gerçekleştirilen rakamsal analiz sonuçlarına göre; tekerlek düzlüğünün varlığından dolayı oluşan maksimum tekerlek/ray etki kuvvetleri statik dingil yükünden fazlasıyla büyüktür. Düzlükten dolayı oluşan tekerlek/ray etki kuvveti ile trenin hızı arasında monoton olmayan ilişki vardır ve dikey etki kuvvetinin değeri 150km/h-200km/h hızları arasında pik değerine sahiptir. Düşey etki kuvveti düzlük uzunluğuna bağlı olarak artar. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre her bir düzlük değeri ve bu değerlerde oluşan dinamik darbe kuvvetleri arasında doğrusala yakın bir ilişki bulunmaktadır.

Bu çalışmada, tekerlek düzlüklerinin tren hareketi ile birlikte hat üzerinde oluşturacağı dinamik darbe kuvvetlerinin tespiti için farklı araştırmacılar tarafından sonlu elemanlar yöntemi ile geliştirilen modeller üzerinden yapılan rakamsam tetkik sonuçları irdelenmiştir. Gerek bu modellerin kurgulanması gerekse modeller üzerinden rakamsal çalışmaların yapılması yüksek performanslı bilgisayarlar ve özel yazılımlar gerektirmektedir. Diğer taraftan, tekerlek düzlüklerinin demiryolu hattı üzerinde meydana getirdiği kuvvetlerin tahmini için ülkemizde geliştirilmekte olan Bezgin Yöntemi ile el ile hesap yapmaya uygun analitik bir denklem elde edilmiştir [23, 24, 25]. Adı geçen yöntem ile geliştirilen Bezgin-Kolukırık denkleminin tahminleri ile sonlu elemanlar yöntemi ile geliştirilen modeller üzerinden yapılan tahminler arasında gözlenen yüksek derece uyum ve tekerlek düzlüğü ile oluşan dinamik darbe kuvvetleri arasında tespit edilen doğrusala yakın ilişki gözlenmiştir. Sürmekte olan bu çalışmanın sonuçları 2019 senesinde detayları ile paylaşılacaktır.

## Kaynakça

- [1] [www.railengineer.uk/2017/10/17/detecting-wheel-flats-and-more/](http://www.railengineer.uk/2017/10/17/detecting-wheel-flats-and-more/) ,17 Ocak 2017.
- [2] Vyas, NS. and Gupta, AK., Modeling rail wheel-flat dynamics, WCEAM 2006 Paper 233, sayfa 1-10, 2006.
- [3] Jing L., Wheel-Rail Impact by a Wheel Flat, Modern Railway Engineering, 20 Aralık 2017.
- [4] Jergeus, J., et all., Full-scale railway wheel flat experiments, Proceedings of the Institution on Mechanical Engineers, Part F, vol. 213, 1999.
- [5] Acharya, D.R. and Guins, T.S., Economic analysis of high impact load wheels, Technology Digest, TD93-013, Aralık 1993.
- [6] Dukkipati, R.V. and Dong, R., Impact Loads Due to Wheel Flats and Shells, International
- [7] [www.wikivisually.com/wiki/1971\\_Salem,\\_Illinois,\\_derailment](http://www.wikivisually.com/wiki/1971_Salem,_Illinois,_derailment)
- [8] Ahlbeck, D.R., and Harrison, H.D., The effects of wheelrail impact loading due to wheel tread runout profiles , Proc. 9-th Int Wheelset Congress, Montreal, sayfa 6-1, 1988.
- [9] Association of American Railroads, Field manual of the interchange rules. Edition 1985
- [10] Association of American Railroads, 2002 Field Manual of the AAR Interchange Rules, Rule 41-Wheels, AAR, Washington, D.C., 2002.
- [11] Newton, S.G. and Clark R.A., An Investigation of Into the Dynamic Effects on the Track of Wheelflats on Railway Vehicles, Journal Mechanical Engineering Science, vol 21, no 4, 1979.
- [12] de Josez, B., Kendrik, A., and Pak, W., Controlled tests and coal train monitoring with the Salient wheel impact detector, Report No. T-993-88, Research and Development, CP Rail System, November 1988.
- [13] Tuten, J.M. and Harrison, H.D., Design, validation and application of a monitoring device for measuring dynamic wheelrail loads, ASME sayfa no. 84-WA/RT-10, 1984.
- [14] Brizuela, J., Fritsch, C. and Ibanez, A., New Ultrasonic Techniques for Detecting and Quantifying Railway Wheel-Flats, Transportation Research Part C, vol. 19, Issue 6, sayfa 975–984, 2011.
- [15] Kumagai, N., et al., Factors of wheel flats occurrence and preventive measures, WEAR, vol 144, Issues 1-2, sayfa 277-287, Nisan 1991.
- [16] Uzzal, R.U.A., Ahmed, W. and Rakheja, S., Dynamic analysis of Railway vehicle-track interactions due to wheel flat with a pitch-plane vehicle model, Journal of Mechanical Engineering, vol. ME39, no. 2, Aralık 2008.
- [17] Bezgin, N.Ö., Application of a new concept and a method to estimate the vertical impact forces on railway tracks due to track profile irregularities, 97th. Transportation Research Board Meeting, Washington DC, ABD, vol.18-00037, 7-11 Ocak 2018.
- [18] Nielsen, J.C.O., Igeland, A., Vertical dynamic interaction between train and track influence of wheel and track imperfections, Journal Sound and Vibration, Issue 5, vol. 187, sayfa 825–839, 1995.
- [19] Baeza, L., Roda, A., Carballeira, J., Giner, E., Railway train-track dynamics for wheelflats with improved contact models, Nonlinear Dynamics, vol. 45, sayfa 385–397, 2006.
- [20] Pieringer, A., Kropp, W., Nielsen, J.C.O., The influence of contact modelling on simulated wheel/rail interaction due to wheel flats, Wear, vol. 314, sayfa 273–281, Haziran 2014.

- [21] Srivastava, J.P., Sarkar P.K. and Ranjan, V., Contact Stress Analysis in Wheel-Rail by Hertzian Method and Finite Element Method, Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, vol. 95, Issue 4, sayfa 319-325, 2014.
- [22] Han, L., Jing L. and Liu, K., A dynamic simulation of the wheel-rail impact caused by a wheel flat using 3-D rolling contact model, Journal of Modern Transportation, vol. 25, Issue 2, sayfa 124-131, 2017.
- [23] Bezgin, N.O., Development of a new and an explicit analytical equation that estimates the vertical impact loads of a moving train, Procedia Engineering, vol. 189, s. 2-10, Mayıs 2017.
- [24] Kolukirik, C. , Bezgin, N.O., Analysis of Dynamic Impact Forces on Railway Tracks Due to Wheel Flats, 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure-CETRA 2018, Zadar, Croatia, 17-19, s.697-705, Mayıs 2018.
- [25] Bezgin, N.Ö., Kolukirik, C. Development of Bezgin-Kolukirik Equation to estimate dynamic impact forces on railway tracks due to wheel flats. 98th. Transportation Research Board Meeting, Washington DC, ABD, vol.18-00037, 13-17, Ocak, 2019.

## Özgeçmiş



### **İnş. Müh. Kamil Furkan TANER**

Kamil Furkan Taner 9 Mayıs 1996 yılında İstanbul'da doğmuştur. 2014 senesinde Üsküdar Ahmet Keleşoğlu Anadolu Lisesi'nden mezuniyetinin ardından İstanbul Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümüne başlamıştır. Makine Mühendisliği 1.sınıf öğrenimini tamamladıktan sonra Çift Anadal programıyla İnşaat Mühendisliği bölümüne başlamıştır. Bugün itibariyle iki bölümünde lisansını tamamlamaya çalışmaktadır.



### **Doç. Dr. Niyazi Özgür BEZGİN**

2013 senesinde İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde ulaştırma yapıları üzerine araştırmalar yapmak üzere Öğretim Üyesi olarak akademik çalışmalarına başlamıştır ve 2017 senesinde Doçent unvanını kazanmıştır. Demiryolu mühendisliği hat mekaniği üzerine çalışmakta olup, demiryolu hatları üzerine etkin eden dinamik darbe kuvvet değerlerinin tahmini için "Bezgin Yöntemi" adı verilen bir yöntem geliştirmektedir.