



Demiryolu Araçlarının Testlerinde Kullanılan Laboratuvar Ekipmanları: Ray Simülörleri

Bekir Tuna KAYAALP 

Eskişehir Teknik. Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26555, Eskişehir, Türkiye

bt@eskisehir.edu.tr

(Alınış/Received: 26.11.2019, Kabul/Accepted: 26.12.2019, Yayınlama/Published: 31.01.2020)

Özet: Ray simülörleri (Roller-Rig) raylı sistem araçlarının ve bileşenlerinin test edilmesinde kolaylık sağlayan laboratuvar ekipmanlarıdır. Kullanım alanları ve yapılan çalışmalar incelendiğinde raylı sistemler endüstrisinin gelişmesinde çok büyük fayda sağladığı açıkça görülmektedir. Raylı sistemlerde kullanılan araçlarla alakalı, çok spesifik konulardan çok genel konulara kadar birçok çalışma alanına hitap etmektedirler. Günümüzde raylı sistemlerle ilgilenen hemen hemen her kuruluşun kendi ihtiyaç ve taleplerine göre geliştirdiği farklı türlerde, boyutlarda ve özelliklerde simülörler mevcuttur. Her ne kadar özel bir standarda tabi olmasa da bu simülörler bazı kriterlere göre sınıflandırılırlar. Bu çalışmada ray simülörlerinin kullanım alanları, ne tür testlerde kullanıldıkları, sağladığı olanaklar, sınıflandırılmaları ve bu sınıfların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları genel hatlarıyla incelenmiştir. Ayrıca, çalışmanın ilerleyen bölümünde ray-teker ve ray simülörü-teker temas durumlarının geometrik açıdan kıyası matematiksel bir örnekle incelenmiştir. Bu hesaplama ile olası bir ray simülörü tasarımı için temel sayılabilecek bilgi literatüre sunulmuştur. Yapılan literatür taramasında bu çalışma alanı ile alakalı Türkiye’de yapılan çalışmaların yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Bu sebeple, çalışma alanına katkıda bulunmak amacıyla bu konu hakkında giriş niteliğinde bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Roller-Rig, Raylı Sistemler, Test Üniteleri, Ray Simülörü, Teker-Ray Etkileşimi.

Laboratory Equipment Used in Testing of Railway Vehicles: Roller-Rigs

Abstract: Roller-rigs are useful laboratory equipment which provide advantages on testing of railway vehicles or their components. When conducted studies with this type of equipment and their area of uses reviewed in detail their contribution to railway engineering has been noticed obviously. They have been used in a very wide range from very specific topics to general topics. Nowadays, there are roller-rigs with a variety of types, sizes and specifications according to the demands of the institutions which are dealing with matters about railway engineering. Although there is not a standardization of roller-rigs and they are being classified according to several criteria. In this study, their uses, utilities, classifications and comparison are explained briefly. Also, a contact geometry comparison between wheel-track contact and wheel-roller contact has been provided by a numerical example. With this numerical example, basic information has been provided to the literature for a possible roller-rig design. It has been noticed that there are very few studies about this topic from Turkey according to the conducted literature survey. Hence, in order to contribute to the topic, an introductory level of information about roller-rigs has been provided.

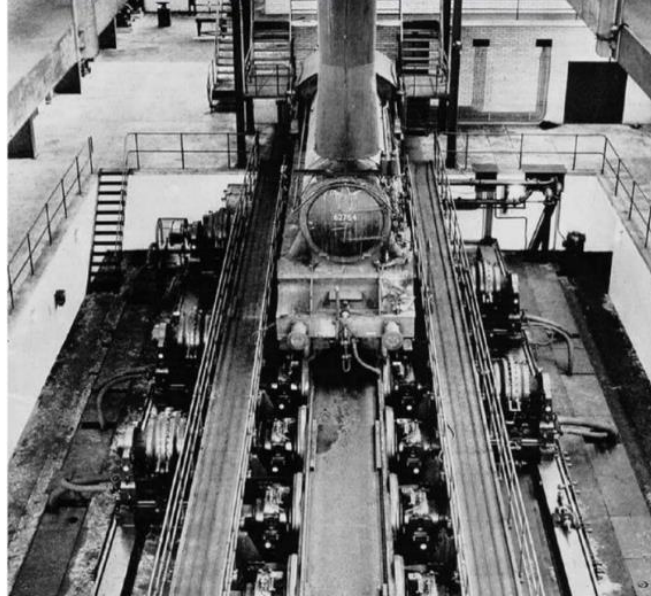
Keywords: Roller-rigs, Rail Systems, Testing Equipment, Wheel-Rail Interaction.

Atıf için/Cite as: B.T. Kayaalp, “Demiryolu araçlarının testlerinde kullanılan laboratuvar ekipmanları: ray simülörleri,” *Demiryolu Mühendisliği*, no. 11, pp. 41-51, Jan. 2020.

1. Giriş

Raylı sistemlerde kullanılan araçların test edilmesi; başta emniyet olmak üzere, işletme ekonomisi, işletme güvenilirliği ve işletme performansı açısından pek çok önem taşımaktadır. Dolayısıyla hem yeni üretilmiş hem de hali hazırda kullanımda bulunan raylı sistem araçları veya buna bağlı bileşenler belirli aralıklarla ve/veya gerekli hallerde birtakım testlere tabi tutulmalıdırlar. Bu testler var olan raylı sistem ağlarında veya özel olarak ayrılmış test raylarında yapılabilirler. Ancak, bu tip testleri kullanılan aktif bir ulaşım ağı üzerinde yapmak, testi yapmak isteyen kuruluş tarafına zaman ve maddi yük, hattın işletmecisi olan kuruluş tarafına da işletme düzenlemesi zorunluluğu ve bakım maliyeti artışı getirmektedir. Ayrıca bu demiryolu hatlarının geniş bir alanda inşa edilmiş olması bu alanların kontrolünü hayli zorlaştırmaktadır. Takdir edileceği üzere uzun bir demiryolu test güzergahının tamamında aynı fiziki ve çevresel koşulları sağlamak pek mümkün değildir. Bu sebepler neticesinde, raylı sistem işletmelerini denetleyen, bu işletmelere altyapı ve gerekli teçhizatı temin eden kuruluşların; maliyeti düşük, zamandan tasarruf sağlayan, tekrarlanabilir ve çeşitli araç-gereç ve yöntemlerle kontrol edilebilir test ve deney ortamlarına ihtiyacı vardır. Bu ihtiyaca karşılık veren, raylı sistem ulaştırmasında kullanılan araçları ve bileşenleri test etmek üzere dizayn edilmiş ünitelere İngilizce terminolojide “Roller-Rig” denmektedir. Bu çalışmada bu terime karşılık olarak “Ray Simülatörü” kullanılmıştır.

Ray simülatörleri buharlı lokomotifler çağından beri kullanılmaktadır [1]. Geçmişte, ilk olarak kabul edilen tam ölçekli bir ray simülatörü, 1904 yılında Great Western Railway şirketi tarafından Birleşik Krallıkta bulunan Swindon şehrinde kurulmuştur (Şekil 1). Lokomotif altına sabitlenen döner raylar ve frenleme motorları ile trenin çekiş gücünü ölçebilmek hedeflenmiştir. 1960 yılında Japonya’da geliştirilen bir diğer tam ölçekli ray simülatörü ise derayman ve rejeneratif frenleme alanında önemli çalışmalar yapılmasına büyük katkı sağlamıştır. Endüstriyel anlamda önemli katkıları bulunan bir diğer tam ölçekli ray simülatörü ise 1977 yılında Deutsche Bahn AG tarafından geliştirilmiş ve günümüzde Avrupa’da raylı sistem taşımacılığında önemli yeri bulunan ICE trenlerinin geliştirilmesinde büyük rol oynamıştır.



Şekil 1. Tarihteki ilk tam ölçekli ray simülatörü, Swindon, UK [1]

Ray simülatörleri demiryolu ulaştırmasında birçok çalışma alanında yaygın bir şekilde kullanılmakta ve bu alanlara detaylı ölçüm ve test yapabilme imkanını sunmaktadır. Tiplerine göre, çok spesifik alanlardan çok genel alanlara kadar birçok çalışma bu test üniteleri üzerinde yapılmıştır ve halen yapılmaktadır. Bu ünitelere sahip kurum ve kuruluşların çalışma alanları ve bu ünitelerden beklentilerinin farklı olmasından dolayı bu ünitelerin birçok farklı dizaynı mevcuttur. Hatta birbirinin tamamıyla aynı sayılabilecek ray simülatörü yok denecek kadar azdır. Her ne kadar keskin çizgilerden oluşan bir sınıflandırma yapmak zor olsa da bilinen literatürde bu üniteler bazı özelliklerine göre sınıflandırılmışlardır [2]. Bu sınıflandırmanın en çok kullanılan üç kriteri şöyledir;

- Tasarım
- Ölçek
- Test edilen numune.

Raylı sistem araçlarının test ortamlarını gerçeğe en yakın şekilde simüle etmek için çeşitli tasarımlar denenmiştir. Birkaç özel konsept dışında ray simülatörleri döner bir ray (makara) barındırırlar. Tahmin edilebileceği üzere, laboratuvar ortamında uzun bir ray hattı kurmak mümkün değildir. Bu probleme çözüm olarak gerçek ray bir makara yordamıyla ikame edilir. Bu sayede kısıtlı bir alanda sonsuz uzunluğa sahip bir ray elde edilmiş olur. Her ne kadar bu ikame gerçek koşulları tam olarak yansıtamasa da büyük ölçüde güvenilir bir sonuç vermektedir [3]. Tasarımlarına göre olan sınıflandırmada öne çıkan faktör bahsi geçen ray simülatörünün test edilen numuneye göre konumlandırma biçimidir. Kimi kaynaklarda bu sınıflandırma, yerleşimine göre (According to layout) sınıflandırma olarak ta geçmektedir [4].

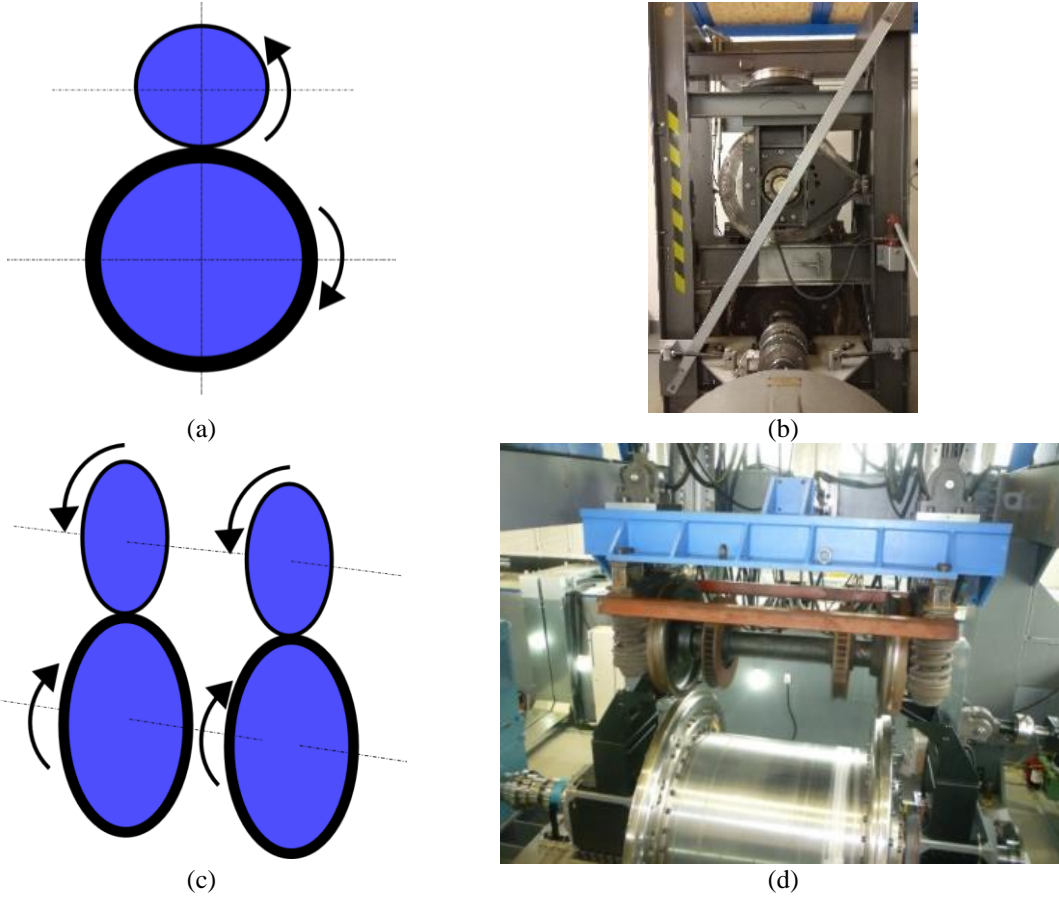
2. Tasarımına (Yerleşimine) Göre Ray Simülatörleri

Tasarımlarına göre ray simülatörleri genel olarak dört grupta incelenebilir. Bunlar, Düşey Düzlemli (Vertical Plane), Dik düzlemli (Perpendicular Plane), İçsel Makara (Internal Roller) ve Salınımlı Raydır (Oscillating Rail). Bu sınıflandırmalar kendi içlerinde kıyaslandığında Salınımlı Ray hariç diğer konseptler döner bir sonsuz ray barındırır.

2.1. Düşey düzlemli ray simülatörleri

En yaygın kullanılan ray simülatörü tipidir. Tek tekerlekli (Single wheel) ve tekerlek setli (Wheelset) olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Tek tekerlekli tip için illüstrasyon ve örnek Şekil 2(a) ve 2(b)'de, tekerlek setli olan tip için illüstrasyon ve örnek Şekil 2(c) ve 2(d)'de verilmiştir.

Düşey düzlemli tek tekerlekli ray simülatörü birbiri üzerinde döner iki tekerlekten/makaradan oluşur. Genellikle tekerleklerden biri numune olan gerçek tekerlek, diğeri ise rayı simüle eden tekerlektir. Özdeş tekerlekler kullanılan sistemler de mevcuttur. Bu tipler tasarımlarının izin verdiği ölçüde, düşey yükü, hücum açısını (Attack of angle), ray eğimini (Rail inclination) ve tekerleğe bağlı diğer parametrelerin uygulanabilmesine ve test edilmesine olanak sağlar. Diğer test ünitelerine nazaran daha az maliyetlidir. Ayrıca tek tekerlek oluşu bahsi geçen parametrelerin uygulanmasını büyük ölçüde esnek hale getirir. Boyutunun diğer tiplere kıyasla küçük olması ve az karmaşık olan yapısı sayesinde sensörlerin montajı daha kolaydır. Ayrıca, bu durum ölçülen numunenin sınırlandırılması ve kontrol edilmesini kolaylaştırır. Böylelikle, sistem yüksek hızlarda test edilebilir. Ancak, bu sistemin kendine göre dezavantajları da mevcuttur. Örnek olarak, sistemde tek tekerlek bulunmasından ötürü, yalpalama testi yapılması mümkün değildir [1]. Ayrıca, tekerleğin kendisi dışında diğer bileşenlerin test edilmesi de bu tip ünitelerde pek mümkün değildir [2].

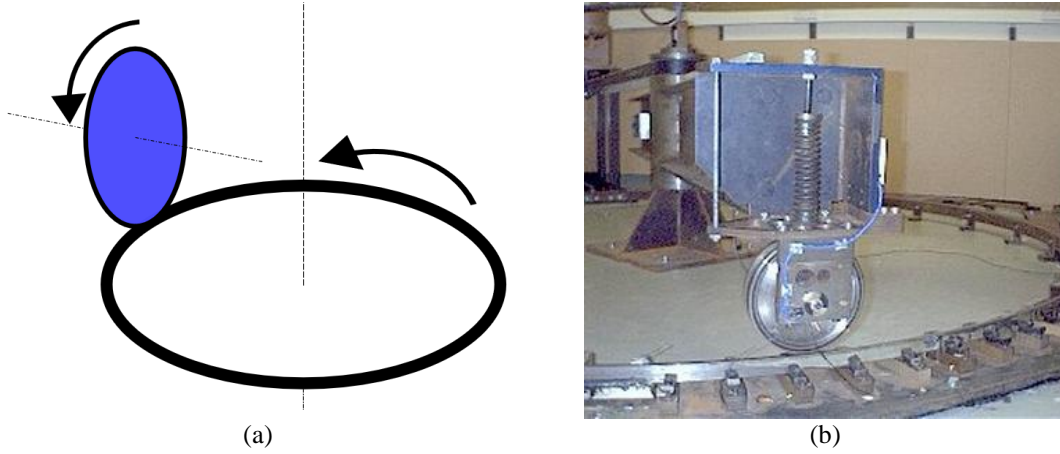


Şekil 2. Tek tekerli ve tekerlek setli düşey düzlemleri ray simülatörü (b [3], d [4])

Düşey düzlemleri tekerlek setli olan ray simülatörleri ise yukarıda belirtilen konseptte nazaran daha karmaşık bir yapıya sahiptir, ancak teker setlerinin bütünüyle test edilmesine olanak sağlar (Yalpalama hareketi, kurp testleri). Hatta, tekerlek seti dışındaki bazı bileşenlerin de test edilmesine olanak sağlar (Rulmanlar, süspansiyonlar). Ray simülasyonu bakımından iki ayrı tipte olabilirler. Bunlar, makaraları eş zamanlı dönebilen (Merdane veya döner ray seti) ve bağımsız kontrollü ray simülatörleridir. Eş zamanlı dönebilen tip, daha az karmaşıktır ve tek motor ve kontrollörle kontrol edilebilir. Bağımsız kontrollü olan sistemde ise iki ayrı sisteme ihtiyaç vardır. Bu bağımsızlık, teker setindeki tekerleri farklı hızlarda ve farklı temas açılarında test edebilmeye olanak tanır (Ray çiftinde farklı sürtünme değerleri).

2.2. Dikey düzlemleri ray simülatörleri

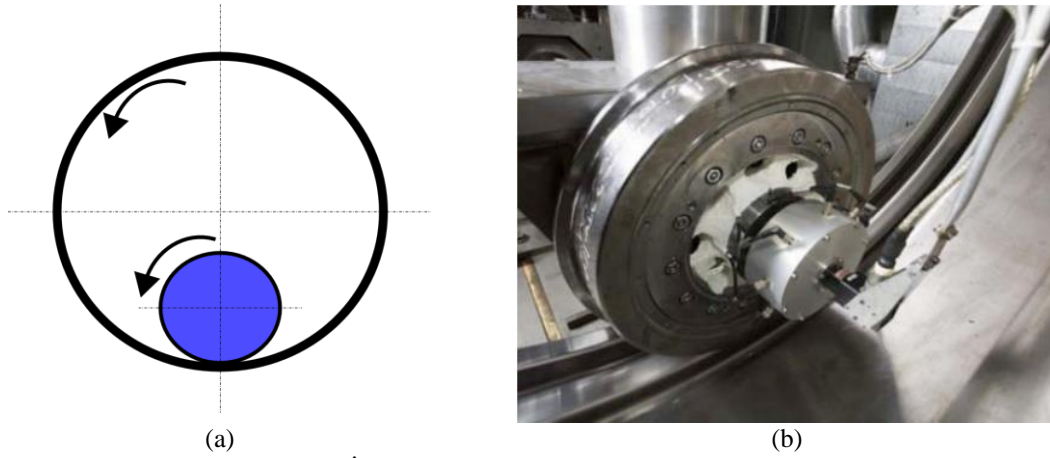
Bu konseptte teker düzlemi ile rayın uzunlamasına düzlemi birbirine diktir. Düşey düzlemleri konseptteki deney koşullarına izin verir. Avantaj olarak, uzunlamasına düzlemleri ray eğriliği ile gerçek kurptaki ray eğriliği benzerdir. Temas geometrisi gerçeğe çok daha yakın elde edilebilir. Bu sistemdeki ray sürekli kurp halindedir. Kurp dinamiği çalışmaları için önemli bir avantaj sağlasa da tekerleğin hareket doğrultusunda düz ray gereken çalışmalar yapmak imkansızdır. Bir diğer dezavantaj ise, döner sistemin yataydaki büyük çapından dolayı, tahrik kolu ve tahrik sistemi çok büyük momentlere sebep olmaktadır. Bu çalışma hızına ciddi bir sınırlama getirmektedir. İlgili simülatör için illüstrasyon ve örnek Şekil 3(a) ve 3(b)'de verilmiştir.



Şekil 3. Dikey düzlemleri ray simülatörü (b) [5]

2.3. İçsel makara tipi ray simülatörü

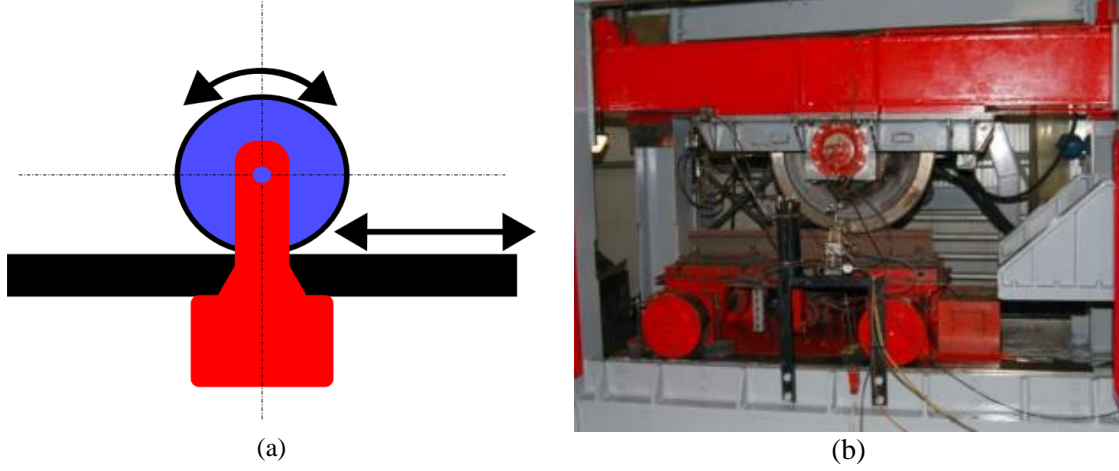
Prensip olarak düşey düzlemleri simülatörleri ile aynıdır. Bu konseptte sonsuz ray bahsedilen ray simülatörüne görece daha büyüktür ve tekerlek döner rayın içine yerleştirilmiştir. Genellikle otomotiv sektöründe kullanılsa da raylı sistem araçlarının testlerinde de kullanılmaktadır. Tekerlek ve makara çapı ayarlanarak temas geometrisi tipik bir düşey düzlemleri ray simülatöründen daha gerçeğe yakın elde edilebilir. Bu sistemin en büyük dezavantajı boyutudur. Büyük çapta bir ray simülatörünü imal etmek, çalıştırmak ve hassas kontrol edebilmek yüksek maliyet gerektiren işlerdir.



Şekil 4. İçsel makara tipi ray simülatörü (b) [6]

2.4. Salınlı ray

Önceki kısımda belirtildiği gibi bu konsept sonsuz ray barındırmamaktadır. Genel olarak bu konseptin amacı spesifik ray parçaları üzerinde çalışmaktır. Sürekli bir hareket elde etmek mümkün değildir. Yuvarlanma yorulması, ray dayanıklılığı gibi daha çok rayın kendisini ilgilendiren çalışmalarda kullanılmaktadır. Dizaynı basittir. Gerçekte kullanılan raylar modifikasyon gerektirmeden kullanılabilir. Temas geometrisi tam olarak simüle edilebilir. Ancak, tahmin edilebileceği üzere sürekli hareketin olmamasından dolayı tekrarlı yüklemeler yapılarak test yapılabilir. Dolayısıyla, yüksek hızlarda test yapmak mümkün değildir.



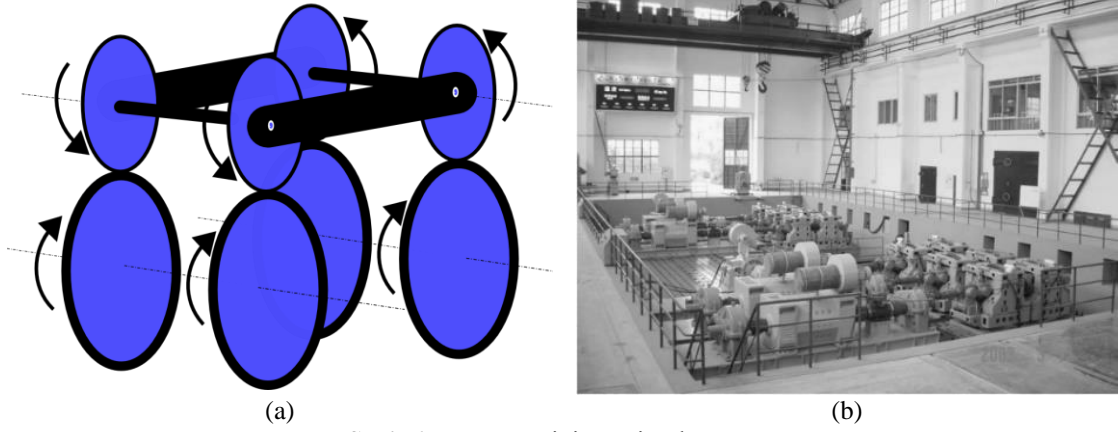
Şekil 5. Salımlı ray tipi ray simülatörü (b [7])

3. Test edilen numuneye ve Ölçeklerine Göre Ray Simülatörleri

3.1. Tam araç (Full Truck) Tipi Ray Simülatörleri

Bir diğer sınıflandırma grubu olan numune ayırımı, yerleşimine göre olan sınıflandırmaya benzer bir sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmada, bileşenlerin yerleşim biçimi değil, test edilen numunenin niteliği önemlidir. Sadece tekerlek, tekerlek seti, boji ve tam araç olarak 4 ayrı başlıkta incelenebilirler. Boji ve tam araç dışındaki sınıflandırmalara örnekler 2. Bölümde verilmiştir. Bu bölümde boji ve tam araç testleri için kullanılan test üniteleri anlatılmıştır.

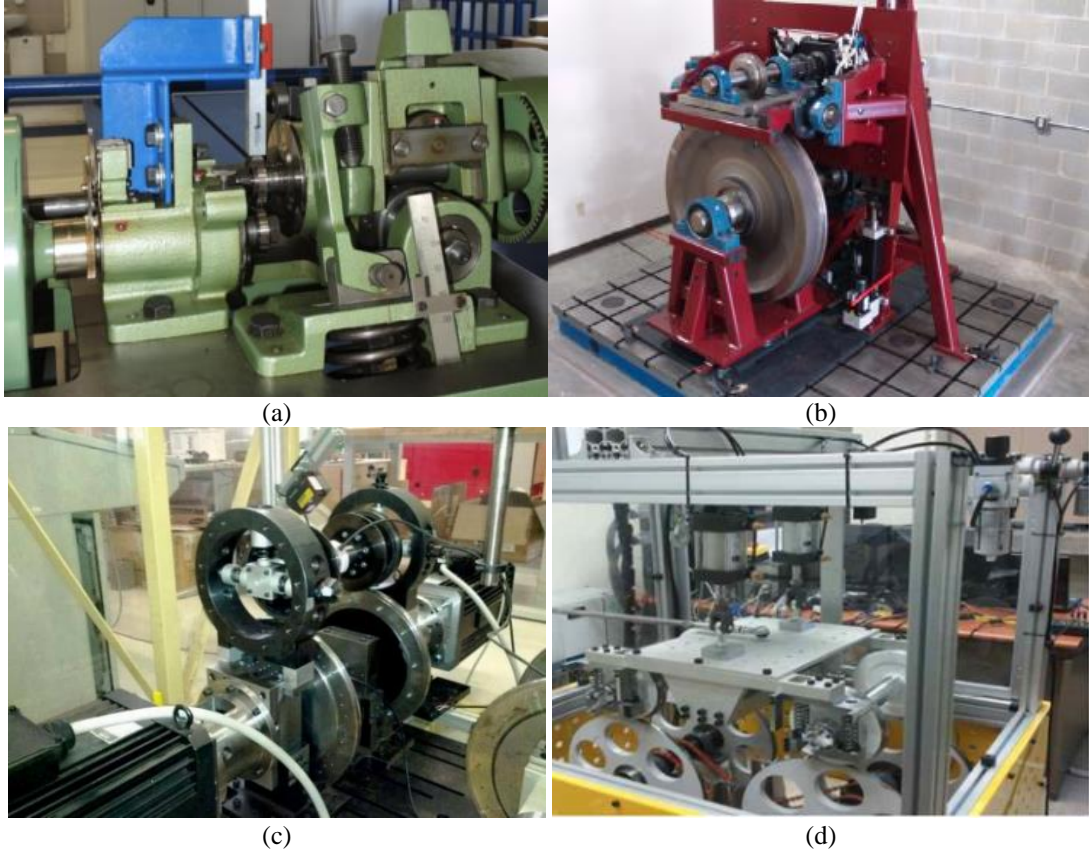
Tam araç tipi ray simülatörleri, genellikle lokomotiflerin, ünitelerin ve bojilerin test edildiği laboratuvar ortamlardır. Diğer simülatörlere göre çok daha büyük ve komplekstirler. Dolayısıyla hem ön yatırım maliyetleri hem de işletme maliyetleri diğer tiplere nazaran çok daha yüksektir. Ancak, araçların bütün halinde test edilmesine olanak verirler. Hatta operasyonel koşullar altındaki bileşenlerin birbirleriyle etkileşimini test etmek bile mümkündür. Avantajları şu şekilde sıralanabilir; yükleme ve sınırlama koşulları gerçek şartları simüle edebilir, boji ve aracın kendisi karp testlerine tabi tutulabilir, gövde-süspansiyon, boji-teker seti ve her iki durumun kombine olduğu durumlar test edilebilir, taşımacılıkta kullanılan araçların kendisi modifikasyon gerektirmeden test edilebilir. Maliyet dezavantajı dışında, enstrümantasyon zorluğu ve karmaşık yapılarından dolayı, hassas ve spesifik ölçümler için uygun değildir (Ray-teker temas analizi). Bu tip simülatör için ilgili illüstrasyon ve örnek Şekil 6'da verilmiştir. Bu tip laboratuvarların birçok ortak ve ayırık yönleri olmasına rağmen, her ülkenin ve kuruluşun kendi ihtiyacına göre tasarlanıp imal edildiğinden dolayı kendi içlerinde özel bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Sadece tam araç veya boji testi yapabilen üniteler, ölçekli olanlar ve tam ölçekli olanlar şeklinde gruplandırılabilir. Ölçekli üniteler ile ilgili bilgi çalışmanın ilerleyen bölümlerinde verilmiştir.



Şekil 6. Tam araç tipi ray simülasyonu [8]

3.2. Ölçekli Ray Simülasyonları

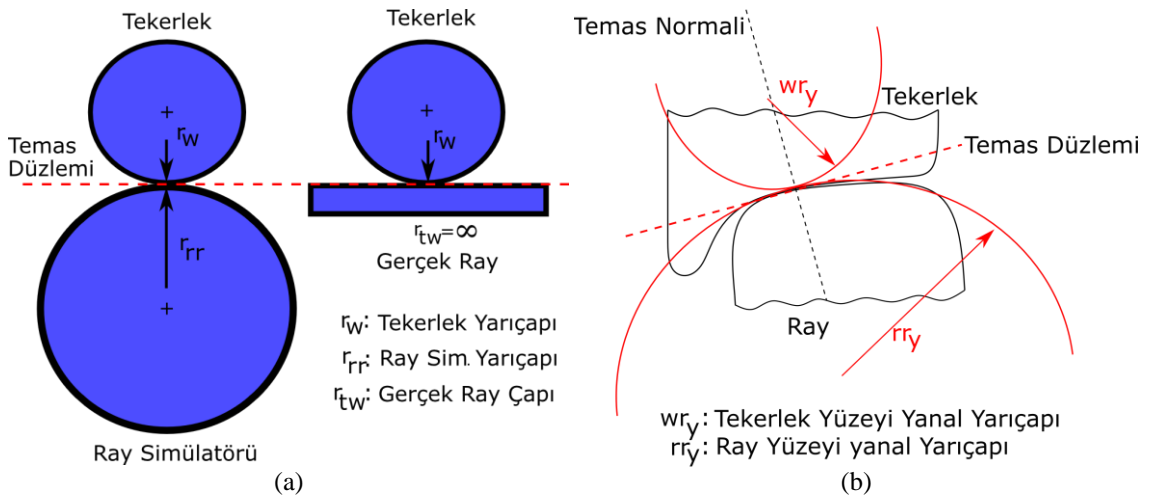
Raylı sistem testlerini laboratuvar ortamında test edebilmenin avantajları çalışmanın giriş kısmında belirtilmiştir. Tam ölçekli üniteler gerçek araç testlerine büyük ölçüde yakın sonuç verebilmeleri açısından tercih edilirler. Ancak, ölçekli olan ünitelerin de tam ölçekli olan ünitelere göre avantajları mevcuttur. Bunlardan en önemlisi maliyet olarak nitelendirilebilir. Tam ölçekli olan bir ünitenin hem ön yatırımı hem de işletme maliyeti ölçekli bir üniteye göre daha fazladır. Maliyetten bağımsız olarak, mühendislik çalışmaları açısından da kimi avantajları mevcuttur. Bu bağlamda en önemli avantaj, küçük boyutlarından ötürü kolay kontrol edilebilmesidir. Bu özellikle hassas ölçüm gerektiren çalışmalarda daha da önem kazanmaktadır. Şöyle ki, dönen bir sistemde kütle arttıkça kinematik olarak bu kütle sistem içindeki etkileri de artar. Dolayısıyla ölçüm verileri bu kinematik etkilere maruz kalabilir. Bu ölçüm sonrasındaki veri işlemlerini zorlaştıran bir durumdur. Bunlarla birlikte, test edilen parametreler de daha kolay kontrol edilebilir. Örnek olarak, tam ölçekli bir üniteye gerçek temas geometrisini elde etmek için uygulanması gereken yük, ölçekli bir üniteye nazaran daha azdır. Bu durum araştırmacılara büyük bir kolaylık sağlar. 2. ve 3. bölümde bahsedilen ray simülasyonları tiplerinin bazılarının ölçekli versiyonları da mevcuttur. Ayrıca çok daha küçük boyutlarda spesifik amaçlar için kullanılan deney ekipmanları da mevcuttur (Sürtünme ölçer). Buna örnek olarak Şekil 7(a) da bulunan çift disk makinesi (Twin-disc machine) verilebilir. Şekil 7(b) de ölçekli düşey düzlemlilik tek tekerlekli ray simülasyonu, Şekil 7(c) de ölçekli düşey düzlemlilik tekerlek setli ve Şekil 7(d) de ölçekli bir tam araç (Boji) simülasyonu verilmiştir.



Şekil 7. Çeşitli tiplerde ölçekli ray simülatörleri [9-12]

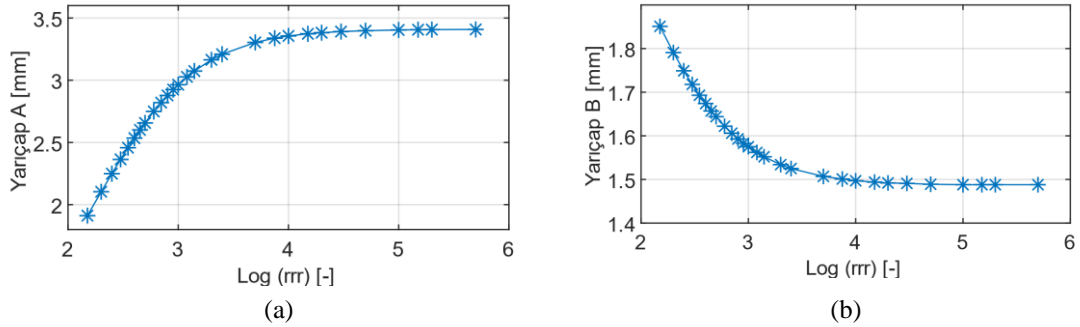
4. Metot

Çalışmanın önceki kısmında da belirtildiği üzere, salımlı ray konsepti dışındaki simülatörler gerçek rayı ikame eden bir makara barındırırlar. Bu makaralar, geometrik sebeplerden ötürü gerçek ray-teker etkileşimini tam olarak yansıtamazlar. Bu bölümde ray simülatörü ve gerçek ray arasındaki temel farklılıklar temel bir hesaplama ile irdelenmiştir.



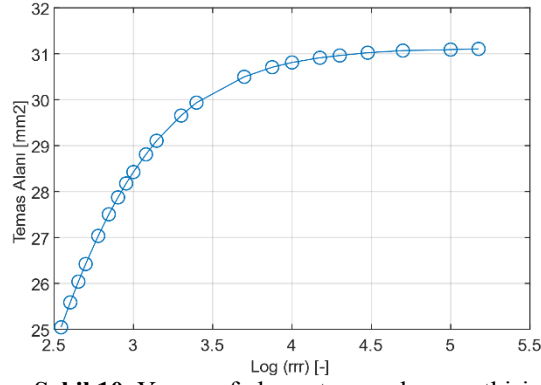
Şekil 8. Ray simülatörü ve gerçek rayın geometrik kıyaslaması. Boylamasına eksen (a), Yanal eksen (b)

Gerçek bir teker-ray etkileşiminde, ray uzunlamasına doğrultuda düz kabul edilir. Bir diğer deyişle düşey kurp yoktur veya çok küçüktür. Ancak, teker-ray simülasyonu etkileşiminde ray simülasyonunun uzunlamasına doğrultuda bir çapı (Eğriliği) vardır. Bahsi edilen fark Şekil 8’de verilmiştir. Bu farklılık temas geometrisine doğrudan etki etmektedir. İki durumun temas geometrisi açısından kıyaslaması yapılmıştır. Kıyaslamanın kolay yapılabilmesi için iki temas durumu da Hertz teorisi [13] kullanılarak incelenmiştir. Teorinin detayları ilgili çalışmada bulunabilir. Hertz temas teorisinde, temas geometrisi, eliptik bir yüzey olarak tanımlanır. Bu uygulama ile temas elipsinin yarıçapları elde edilir. Farklılığı sadece ray ve ray simülasyonu açısından kıyaslamak amacıyla bütün durumlarda tekerlek yarıçapı (r_w) değeri sabit tutulmuş (350 mm) ve tekerlek yarıçapının her daim simülasyonun makarasına eşit veya daha küçük olacağı varsayılmıştır. Temas geometrisini belirlemek için gereken bir diğer parametre ise yanal doğrultudaki yarıçaptır. Yanal doğrultudaki yarıçapların şematik gösterimi Şekil 9’da verilmiştir. İncelenen durumda yanal doğrultudaki yarıçaplar ise bütün durumlar için aynı kabul edilmiş olup teker (w_{ry}) ve ray (r_{ry}) için sırasıyla 300 mm ve 400 mm olarak alınmıştır. Bütün durumlar için düşey yük (20 kN) ve malzeme özellikleri ($E = 210 \text{ GPa}$ ve $\nu = 0.3$) ortak kabul edilmiştir. Ray simülasyonunun çapı 350 mm ’den başlatılıp sonsuza kadar arttırılmıştır. Boylamasına doğrultudaki sonsuz ray yarıçapı ($r_{rr} = \infty$) gerçek (Düz) rayı temsil etmektedir. Artış miktarları, aralığın geniş olmasından dolayı sürekli arttırılmıştır. Boyuna doğrultudaki yarıçap artışının temas elipsinin yarıçaplarındaki etkisi Şekil 9’da verilmiştir. Bahsi geçen grafiklerde yarıçap değerlerinin sonsuza giderken büyük aralıklarla artmasından dolayı yarıçaplar logaritmik olarak verilmiştir.



(a) (b)
Şekil 9. Yarıçap farkının temas elipsi yarıçaplarına etkisi

Şekil 9’dan görüleceği üzere, yarıçap farkının etkisi $\text{Log}(rrr)=4$ ten sonra azalmaktadır. Bu değer yarıçap olarak 10^4 mm ’ye (10 metre) denk gelmektedir. Ancak pratikte 10 metre yarıçapta bir ray simülasyonu kullanmak yatırım, işletme, bakım ve kontrol açısından değerlendirildiğinde pek gerçekçi bir durum değildir. $\text{Log}(rrr)=3$ ise 10^3 mm ’ye (1 metre) denk gelmektedir. Pratikte 1 metre yarıçaplı bir ray simülasyonu daha uygulanabilir. Kıyaslamayı tek bir parametre üzerinden yapabilmek için değişimin temas alanına etkisi de hesaplanmıştır. Yarıçap değişiminin temas alanına etkisi Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Yarıçap farkının temas alanına etkisi

5. Bulgular ve Tartışma

Hesaplamalara göre, 10 metre yarıçapa sahip bir ray simülasyonunun önceki bölümde parametreleri verilmiş tekerlekle teması halindeki temas alanı 30.92 mm^2 , 1 metre yarıçapa sahip bir ray simülasyonunun oluşturacağı temas alanı 28.42 mm^2 ve düz bir ray ile temas alanı 31.13 mm^2 'dir. 10 metre ve 1 metre yarıçaplı simülasyonların temas alanlarının gerçek ray-teker temas alanı ile farkları sırasıyla %7 ve %9 dur. Her ne kadar %7'lik fark daha kabul edilebilir olsa da yukarıda açıklanmış sebeplerden dolayı 10 metre çaplı bir ray simülasyonu pratikte pek uygulanabilir değildir. %9'luk fark %7'lik farka göre yüksek görünse de bazı düzeltme, ölçekleme stratejileri ile bu sorun aşılabılır. Temas geometrisinin ön planda olmadığı test veya ölçümlerde araştırmacının tercihinin göre %9'luk fark önemsenmeyebilir veya ihmal edilebilir. Ayrıca, tekerlek çapı küçültülerek, istenilen temas geometrisi elde edilebilir. Bu durumda, ölçekleme stratejileri kullanılabilir [14].

6. Sonuç

Bu çalışmada, dünya genelinde raylı sistemlerde kullanılan araçların ve bu araçlara ait bileşenlerin test edildiği çeşitli ray simülasyonları genel hatlarıyla incelenmiştir. Çeşitli sınıftaki simülasyonların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları açıklanmış, ne tür testler için kullanılacakları hakkında giriş düzeyinde bilgi verilmiştir. Ayrıca çalışmanın ilerleyen bölümünde ray simülasyonları ve gerçek test koşulları arasındaki farklardan bahsedilmiş, bahsi geçen fark matematiksel bir örnekle açıklanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde gerçek durumda olan teker-ray etkileşimi ile olası bir simülasyondaki etkileşimin temas geometrisi yönünden farkları ortaya konmuş ve ray simülasyonu tasarımı esnasında kritik kabul edilebilecek, teker ve ray simülasyonundaki makarının boyutlarının birbirine göre büyüklüklerinin belirlenmesi metodolojik olarak verilmiştir. Bu bağlamda, gelecekte yapılabilecek tasarımlarda ön çalışma olarak bu hesaplama kullanılabilir. Ayrıca, verilen literatür bilgileri ışığında, amaca yönelik ray simülasyonu belirlenebilir ve ihtiyaç duyulan sınıf belirlendikten sonra her bir sınıflandırma ve tip için detaylı araştırma yapılabilir ve bu ekipmanlarla yapılmış çalışmaların literatüre katkıları sunulabilir. Tasarlanabilecek gelişmiş düzeyde yeni bir ekipman için tasarım kriterleri ve amaçları bu çalışmalara dayanarak belirlenebilir.

Kaynakça

- [1] S. Myamlin, J. Kalivoda, and L. Neduzha, "Testing of Railway Vehicles Using Roller Rigs," *Procedia Engineering*, vol. 187, pp. 688–695, 2017.
- [2] S. Z. Meymand, "State of the Art Roller Rig for Precise Evaluation of Wheel-Rail Contact Mechanics and Dynamics," PhD. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 2015.
- [3] A. Onat and B. T. Kayaalp, "A Novel Methodology for Dynamic Weigh in Motion System for Railway Vehicles With Traction," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 11, pp. 10545–10558, Nov. 2019.
- [4] K. Ahn, J. Park, and S. Ryew, "The construction of a full-scale wheel/rail roller rig in Korea," in *2012 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Seoul, Korea (South), 2012, pp. 802–803.
- [5] "ISVR Wheel/Rail Model Rig." [Online]. Available: https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/groups/dynamics/rail/wheel_rail_model_rig.p age. [Accessed: 25-Nov-2019]
- [6] S. Z. Meymand, M. J. Craft, and M. Ahmadian, "On the Application of Roller Rigs for Studying Rail Vehicle Systems," in *ASME 2013 Rail Transportation Division Fall Technical Conference*, Altoona, Pennsylvania, USA, 2013.
- [7] Stock R, Elvidge DTED, Oldknow K. The impact of rail grade selection and friction modifier application on rail degradation. 9th World Congress on Railway Research, 2011.
- [8] W. Zhang, H. Dai, Z. Shen, and J. Zeng, "Roller Rigs," in *Handbook of railway vehicle dynamics*, Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006.
- [9] E. Schmidova and P. Voltr, "Comperative Laboratory Tests of Solid Friction Modifiers," Pardubice, Czech Republic, 76-14-1, 2014.
- [10] S. Z. Meymand and M. Ahmadian, "Design, development, and calibration of a force-moment measurement system for wheel-rail contact mechanics in roller rigs," *Measurement*, vol. 81, pp. 113–122, Mar. 2016.
- [11] N. Bosso and N. Zampieri, "Real-time implementation of a traction control algorithm on a scaled roller rig," *Vehicle System Dynamics*, vol. 51, no. 4, pp. 517–541, Apr. 2013.
- [12] B.-G. Eom, B.-B. Kang, and H. S. Lee, "A study on running stability assessment methods for 1/5 small scaled bogie of saemaul using small-scaled derailment simulator," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 14, no. 4, pp. 589–598, Apr. 2013.
- [13] H. Hertz, "Ueber die Berührung fester elastischer Körper.," *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, vol. 1882, no. 92, pp. 156–171, 1882.
- [14] P. D. Allen, "Scale Testing," in *Handbook of railway vehicle dynamics*, Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006.

Özgeçmiş



Bekir Tuna KAYAALP

1986 yılında doğmuştur. Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2011 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Pardubice Üniversitesinde 2015 yılında tamamlamıştır. Halen aynı üniversitede doktora programına devam etmektedir. Eskişehir Teknik Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.