

Demiryolu Altyapısında Güvenirlik, Bulunabilirlik, Sürdürülebilirlik ve Emniyet (RAMS)

*¹Shuhratjon Hidirov ve ²Hakan Güler

*¹ Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya, Türkiye

Özet

Demiryolları, üretim endüstrisi ile taşımacılık sektörleri arasında bağlantıyı ve ekonominin sürekli işleyişini sağlayan önemli bir ulaşım aracıdır. Demiryolu ulaşımında güvenli ve emniyetli işletmecilik yolcu ve yük taşımacılığı için çok önemlidir. Bu durum dünyada yaşanan demiryolu kazaları ve kazaların sebep olduğu olumsuz sonuçların etkisi ile açıkça gözükmektedir. Bu kazaları önlemek ve yüksek emniyetli bir demiryolu sistemi sağlamak için Avrupa Birliği 1999 yılında EN 50126 standardını uygulamaya koymuştur. EN 50126 standardı ile demiryollarında yüksek emniyet ve sistem güvencesinin sağlanması amaçlanmıştır. EN 50126 standardı demiryolu sistemlerinde Güvenirlik, Bulunabilirlik, Sürdürülebilirlik ve Emniyet (RAMS) kavramlarından oluşmaktadır. Bu standart RAMS analizleri olarak dikkate alınmaktadır ve bu analizler demiryollarında risk analizlerinin yapılmasını ve bu risklerin mümkün olduğu kadar kabul edilebilir bir seviyeye getirilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada Özbekistan Demiryolları için bir uygulama yapılmıştır. Özbekistan demiryolları 1994 yılında kurulmuş olup toplam 6464 km uzunluğundadır. Taşkent-Semerkant arasında 344 km uzunluğunda yüksek hızlı demiryolu hattı bulunmaktadır. Yüksek hızlı demiryolu hatlarında maksimum hız 250 km/sa'tir. Özbekistan demiryolları hatlarında yapılan bakım ve yenileme çalışmalarının performans değerlendirmesi için RAMS analiz teknikleri kullanılmıştır. Demiryolu hattını oluşturan her bir bileşenin bakım sonrası güvenirlik analizleri yanında sırasıyla bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet analizleri de yapılmıştır.

Key words: Demiryolu, Güvenirlik, Bulunabilirlik, Sürdürülebilirlik, Emniyet ve RAMS analizleri.

Abstract

Railways are an important transportation system enabling a connection between the manufacturing industries and the transportation sector and it helps a sustainable economy. Safe and secure operation in railway transportation is significant for passengers and freight transportation. It is obviously seen that there are negative consequences of railway accidents occurred in the world. For that reasons, European Union put into practice an European standard in 1999 known as EN 50126 to prevent these accidents and ensure a high safety rail operation system. EN 50126 standard aims to provide high secure and safe system for railways. The EN 50126 standard consists of the following concepts which are Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS). These concepts are recognized as RAMS analyses and these analyses enable to do risk analyses to minimize these risks to the acceptable levels. In this study, a case study was performed for Uzbekistan Railways network. Uzbekistan Railways were established in 1994 and it is about 6464 kilometres length in total. There is also a high-speed line between Tashkent and Samarkand with 344 kilometres length. The maximum speed on the high-speed line is 250 km/h. The RAMS analysis techniques were used to evaluate the performance of

maintenance and renewal works on Uzbekistan railway lines. The reliability analyses as well as availability, maintainability, and safety analyses were performed for the each type of railway track components after maintenance and renewal activities on the track.

Key words: Railways, Reliability, Availability, Maintainability, Safety and RAMS analysis.

1. Giriş

Demiryolu hat bakım ve yenilemesiyle (BY) ilgili maliyetler önemli olup toplam altyapı maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu maliyetleri azaltacak önlemlerin alınması altyapı yönetiminde önemli bir etkinlik sağlayacaktır. Demiryolu hattına yapılacak müdahalelerin ne zaman, nerede ve nasıl olacağı, kaynakların en iyi şekilde tahsis edilmesi ve maliyetlerin en aza indirilmesi konularındaki problemler oldukça karmaşıktır. Çünkü yük altında bulunan aynı ya da farklı hat kesimleri çok farklı şekillerde davranış ortaya koyarlar. Bu sebeple BY çalışmalarlarıyla ilgili kararlar teknik ve ekonomik yönden birbirleriyle ilişkilidirler. Hat BY planları; büyük miktarlarda teknik ve ekonomik verilere, kapsamlı hat verilerine ve tüm bunların yanında tecrübelerle dayanır [1].

Yüzyılı aşan bir süredir kullanılan geleneksel demiryolu hatları ray, travers, bağlantı malzemesi, balast, alt balast ve toprak gövdeden oluşmaktadır. Geleneksel demiryolu hatları literatürde balastlı yollar olarak ifade edilmektedir. Balastlı yolların alternatifi olarak çeşitli üstyapı tipleri geliştirilmiştir. Balast yerine beton plak kullanılarak yapılan balastsız yollar günümüzde tercih edilen bir üstyapı çeşididir. Balastsız demiryolu hatları ilk olarak 1972 yılında Almanya'nın Bielefeld ve Hamm şehirleri arasında yapılmıştır. Balastsız demiryolları Rheda olarak isimlendirilmiştir. Rheda Bielefeld ve Hamm şehirleri arasında bulunan bir istasyon ismidir. Elde edilen tecrübeler ve teknolojiye gelişmelerle 1,000 m uzunluğundaki RHEDA2000 balastsız demiryolu hattı Almanya'nın Erfurt ve Halle-Leipzig şehirleri arasına yapılmıştır. Ardından Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde balastsız yolların yapılmasına devam edilmiştir. Balastsız demiryolu hatlarının bakım maliyetleri balastlı demiryollarına nazaran çok düşüktür ancak ilk yapım maliyetleri çok yüksektir. Bu sebeple ulusal demiryolu organizasyonları yapım maliyetlerinin düşük olmasından dolayı balastlı demiryollarını tercih etmektedirler [2].

Özbekistan Demiryolları yapımını tamamlamış olduğu maksimum 250 km/sa işletme hızına sahip yüksek hızlı demiryolu hatlarında balastlı demiryolu hatlarını tercih etmiştir. Bu çalışmada Taşkent-Semerkant arasındaki demiryolu hattı incelenmiştir. Taşkent-Semerkant yüksek hızlı demiryolu inşaatı mevcut hatların iyileştirilmesi şeklinde 11 Mart 2011 yılında başlamış ve 26 Ağustos 2011 tarihinde işletmeye açılmıştır. Semerkant-Taşkent arasındaki 344 km uzunluğunda yüksek hızlı demiryolu hattı Cizzah ve Sirderya şehirlerinden de geçmektedir [3].

Bu çalışmada Taşkent-Semerkant yüksek hızlı demiryolu hattının bakım ve yenileme çalışmalarının performans değerlendirmesi için Güvenirlik, Bulunabilirlik, Sürdürülebilirlik ve Emniyet olarak ifade edilen RAMS analizleri yapılmıştır.

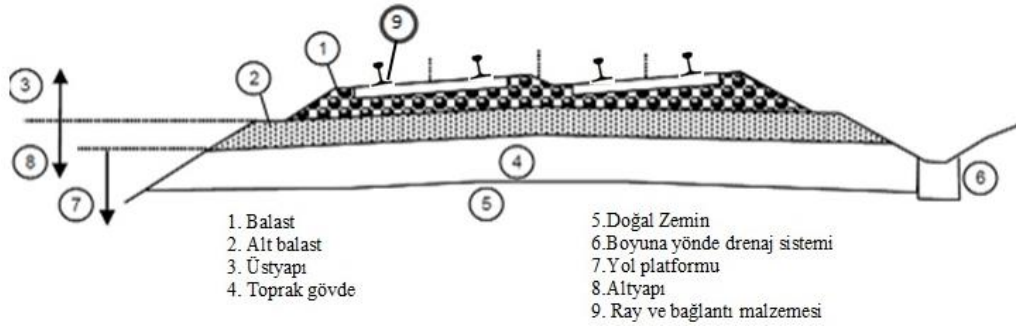
Bu amaçla Taşkent-Semerkant yüksek hızlı demiryolu hattının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında vektörel (dijital) haritası oluşturulmuştur. Vektörel harita üzerinde demiryolu hattı belirli uzunluklarda bakım kesimlerine bölünmüştür. Ardından demiryolu hattının bozulma

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: caglar@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955752 Fax: +902642955601

mekanizması belirlenmiş, her bir hat bileşeninin bozulma derecesini ifade etmek için eşik değeri tanımlaması yapılmış ve demiryolu ölçüm trenlerinden hat geometrisi değeri elde edilerek yatay geometri, düşey geometri, burulma, hat genişliği ve dever parametreleri için Güvenirlik analizleri yapılmıştır. Daha sonra yüksek hızlı demiryolu hattını oluşturan her bir bakım kesiminde yılda gerçekleştirilen kontroller, bakım ve yenileme sayıları elde edilmiştir. Kontroller, bakım ve yenileme verileri esas alınarak Bulunabilirlik, Sürdürülebilirlik ve Emniyet analizleri yapılarak sonuç ve değerlendirmeler yapılmıştır.

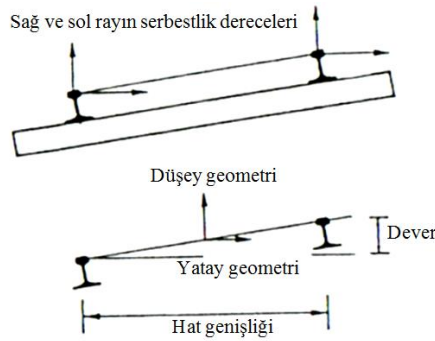
2. Demiryolu Hattının Bozulması

Dünyada geniş bir uygulama alanına sahip olan balastlı demiryolunun hat bileşenleri iki gruba ayrılır. İlk grup üstyapı olarak tasarlanır ve raylardan, bağlantı malzemesinden, traverslerden ve balast tabakasından oluşur. İkinci grup altyapı olarak tasarlanır ve alt balast tabakasından ve toprak gövdeden oluşur (Şekil 1) [4].



Şekil 1. Balastlı demiryolu bileşenleri

Demiryolu hattının yatayda ve düşeydeki konumuna demiryolu hattı geometrisi denir. Hattın olması gereken geometrik konumdan sapmasına hat geometrisinin bozulması adı verilmektedir. Hat geometrisi başlıca iki grupta incelenir. İlki yatay geometri diğeri ise düşey geometridir. Demiryolu hat geometrisinde meydana gelen bozulmalar düşey geometrinin bozulması ve yatay geometrinin bozulması şeklinde sınıflandırılabilir. Demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar; burulma, hat genişliğinin bozulması, demiryolu hattının ekseninden sapması, dever bozulması ve nivelman bozulmasıdır. Her bir rayın yatay ve düşey doğrultuda iki serbestlik derecesi vardır. Bu sebepten dolayı demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar her bir ray için değişiklik gösterebilir (Şekil 2) [5].



Şekil 2. Demiryolu hattının serbestlik dereceleri

2.1. Hat bileşenlerinin bakım ve yenileme eşik değerlerinin belirlenmesi

Bu çalışmada hat geometrisinin düzeltilmesine yönelik yapılan bakım ve yenileme çalışmalarının eşik değerleri belirlenmiştir. Benzer şekilde hattı oluşturan raylar, traversler ve balast tabakası içinde BY eşik değerlerini belirlemek mümkündür. Hat geometrisi parametrelerinin (Yatay geometri, düşey geometri, burulma, hat genişliği ve dever) hattın sınıfına bağlı olarak eşik değerleri EN 13848 numaralı AB standardında tanımlanmıştır. EN 13848 standardında hat geometrisi için belirlenen eşik değerler aşağıda sıralanmıştır [6].

- Uyarı Limiti (*AL*): *AL* eşik değeri aşıldığında hat geometrisi analiz edilir ve planlı BY çalışmaları gerçekleştirilir.
- Müdahale Limiti (*IL*): *IL* değeri aşıldığında gerekli düzeltici BY faaliyeti gerçekleştirilir ve bir sonraki ölçümde *IAL* limitine erişmediği kontrol edilir.
- Acil müdahale Limiti (*IAL*): *IAL* aşıldığında kazaların olmaması için işletmeye müdahale edilir. Hızlar düşürülür ya da hat işletmeye kapatılır.

3. Demiryollarında Bakım ve Yenileme Çalışmaları

Balast tabakası üzerinde bulunan demiryolu hattının; binalar, köprüler, barajlar ve viyadükler gibi diğer inşaat mühendisliği yapılarıyla karşılaştırıldığında aşırı dinamik yüklere maruz kaldığı görülür. Yukarıda sıralanan temelli yapılar kuvvetli olup bunlara etki eden hareketli yükler ise çok küçüktür. Demiryolu üzerinden geçen ağır ve yüksek hızlı araçların etkisi dikkate alındığında demiryolu hattının çok narin bir yapıda olduğu görülür. Bu durum demiryolu hattına yapılacak bakımın ve yenilemenin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Geleneksel demiryolu hattında, hareket halindeki trenlerin sebep olduğu dinamik kuvvetler balast tabakası ve diğer birleşenler arasındaki bir çeşit etkileşimle emilir. Bileşenler arasındaki bu etkileşim doğal olarak zamanla artar. Hareket halindeki ağır yükler balastın bozulmasına, kaybına, hat bileşenlerinin aşınmasına ve parçalanmasına sebep olurlar. Yağmur, sel ve rüzgar gibi doğa olayları hattın yapısı ve bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğundan sürekli bir bakımı gerektirirler. Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme (BY) çalışmaları en az maliyette güvenlik ve kalite standartlarını sağlayan tüm bakım ve yenileme faaliyetlerini içerir. Bakım ve yenileme faaliyetleri başlıca bakım ve yenileme olmak üzere ikiye ayrılır. Bakım ve yenileme faaliyetleri de elle ve makineli olmak üzere iki ayrılır. Bakım ve yenileme çalışmalarının temel ilkesi; ölçüm sistemlerinden elde edilen kontrol verileri, görsel gözlemler ve finansal-ekonomik verilerle birlikte hattın bölgesel koşullarını da dikkate alarak hazırlanacak programlara dayanır. Aşağıdaki tabloda demiryolu hatlarına yapılan önemli bakım ve yenileme çeşitleri verilmiştir [4 ve 3].

Table 1. Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme çalışmaları

Bakım Çalışmaları	
1.	Buraj (Hattı yatay ve düşey yönde konumuna getirme çalışması)
2.	Ray taşlama
3.	Hattın kontrol edilmesi ve küçük bakım çalışmaları
4.	Rayların yağlanması
Yenileme Çalışmaları	
1.	Hattın tamamının yenilenmesi
2.	Ray yenileme
3.	Travers ve ray bağlantılarının yenilenmesi

4. Ray, travers ve bağlantıların yenilenmesi
5. Balast eleme ve/veya balast yenileme
6. Travers, bağlantı malzemesi ve balast yenileme

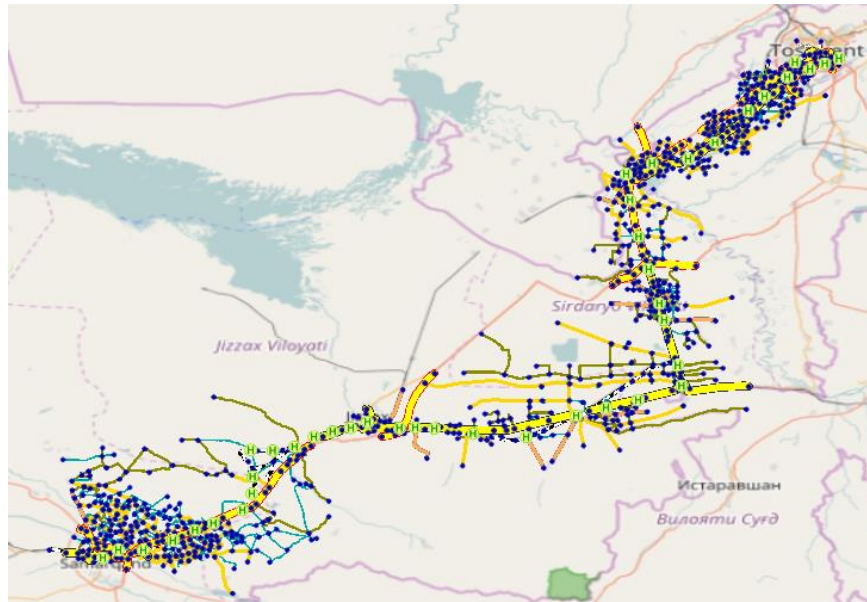
4. Demiryollarında RAMS analizleri

Avrupa Birliği içinde bulunan ülkelerin demiryolu organizasyonları ve demiryolu sanayisi için güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet (RAMS) konularının etkili bir şekilde yönetimine uygun bir yaklaşım sürecini sağlamak için EN 50126 numaralı AB standardı geliştirilmiştir [7].

Güvenirlik (Reliability): Bilirli bir zaman aralığında ve belli koşullarda bir öğenin gerekli fonksiyonları yerine getirebilme olasılığıdır. **Bulunabilirlik (Availability):** Verilen bir zamanda veya bir zaman aralığında, verilen koşullar altında, gerekli tüm kaynakları sağlanmış olan bir ürünün gereken bir fonksiyonu yerine getirebilmesi için bir konumda bulunabilme yeteneğidir. **Sürdürülebilirlik (Maintainability):** Belirlenen koşullar altında, belirlenen prosedürler ve kaynaklar kullanılarak bakım yapılması koşuluyla, belirli koşullar altında kullanımda olan bir öğe için belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilebilecek belirli bir aktif bakım faaliyetinin olasılığıdır. **Emniyet (Safety):** Kabul edilemeyen risklerin zararlarından uzak olmak olarak ifade edilir.

5. Özbekistan demiryollarında hat geometrisi bozulması için RAMS analizleri

Bu çalışmada Özbekistan Demiryolları hat geometrisi bozulmalarının RAMS analizleri için bir uygulama yapılmıştır. Özbekistan demiryolları 1994 yılında kurulmuş olup toplam 6464 km uzunluğundadır. Taşkent-Semerkant arasında 344 km uzunluğunda yüksek hızlı demiryolu hattı bulunmaktadır (Şekil 3). Şekil 3'te CBS ortamında hazırlanmış olan güzergah Taşkent-Semerkant arasındaki yüksek hızlı demiryollarını göstermektedir. Yüksek hızlı demiryolu hatlarında maksimum hız 250 km/sa'tir [3].



Şekil 3. Taşkent-Semerkant Yüksek Hızlı Demiryolu koridoru

Özbekistan demiryolları hatlarında yapılan bakım ve yenileme çalışmalarının performans değerlendirmesi için RAMS analiz teknikleri kullanılmıştır. Demiryolu hattını oluşturan her bir bileşenin bakım sonrası güvenilirlik analizleri yanında sırasıyla bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet analizleri de yapılmıştır. Geliştirilmiş olan modelin akış şeması Şekil 4'te görülmektedir. Geliştirilen model dört aşamadan oluşmaktadır. **Birinci aşamada**, demiryolu hattının ölçüm araçları ile genel olarak kontrolünden elde edilen verilerin ve her bir hat bileşeninin daha önceden belirlenen eşik değerlere göre değerlendirmesi yapılır. Şayet IAL değeri aşılmışsa hatta müdahale edilerek ya hızlar düşürülür ya da hat işletmeye kapatılır ve düzeltici bakım yapılarak kusurlar giderilir. Ölçüm değerleri AL ile IAL arasında olan kesimler ayrıntılı inceleme için ikinci aşamada değerlendirilir. Ölçüm değeri AL eşik değerinden düşük olan kesimlerde yapılacak BY faaliyetleri uygunluk değerlendirmesine alınır. Uygunluk değerlendirmesinde bu kesimlere, komşu kesimlerin durumuna bakılarak bakım, yenileme çalışması yapılır ya da herhangi bir işlem yapılmaz. **İkinci aşamada** analiz kesimleri ve bakım kesimleri düzeyinde ayrıntılı bir çalışma yapılır. Ölçüm araçlarından toplanan veriler istatistik tekniklerle analiz edilerek güvenilirlik fonksiyonları çeşidi ve katsayıları belirlenir. Güvenirlik fonksiyonların verdiği sonuçlara bağlı olarak üçüncü aşamaya yani BY aşamasına geçilir. Aşağıda örnek olarak bir parametrelilik ekponansiyel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte $f(t)$: Yoğunluk fonksiyonu, λ : Ölçek parametresi (Bozulma oranı) ve t : Zaman.

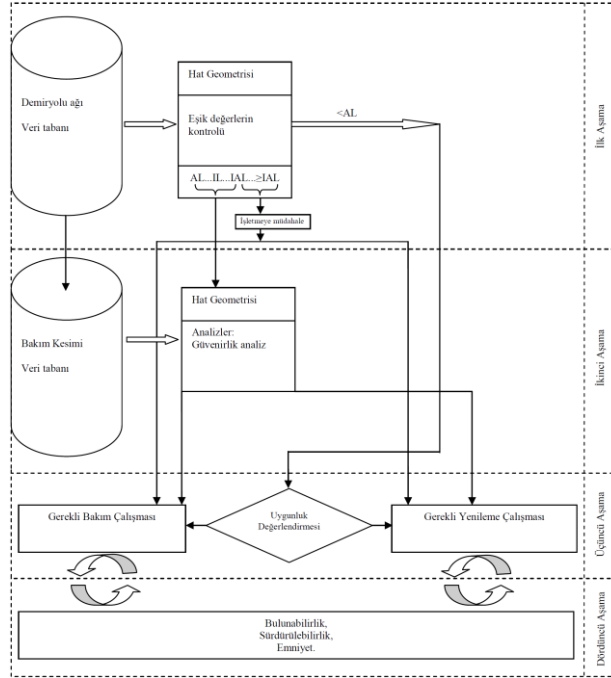
Tek parametrelilik ekponansiyel kümülatif yoğunluk fonksiyonu ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilir ($F(t)$ veya cdf):

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Tek parametrelilik ekponansiyel güvenilirlik fonksiyonu ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilir ($R(t)$):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Üçüncü aşamada, güvenilirlik analizleri sonucu bulunan değerlere bağlı olarak planlı BY faaliyetleri gerçekleştirilir. Yapılan faaliyetlerin sonucu hattın bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik analizleri için dördüncü aşamaya geçilir. Dördüncü aşamada yapılması düşünülen BY faaliyetleri sonunda hattın bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik analizleri yapılır. BY faaliyetlerinin işletmeye etkisinin çok olması durumunda BY faaliyet seçenekleri tekrar gözden geçirilir. Ayrıca BY faaliyetlerinin etkisinin uzun, kısa ve orta vadede değerlendirmesi yapılarak BY faaliyetlerinin sürdürülebilirlik analizleri yapılır. Bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik arasında bir optimizasyon çalışması yapılarak en uygun BY faaliyetine karar verilir. Ayrıca hattın genel bir değerlendirmesi ile risk analizleri yapılarak emniyet düzeyi belirlenir.



Şekil 4. Demiryollarında RAMS analizleri için geliştirilen model

Bulunabilirlik analizlerinde hattın işletmeye açık ya da kapalı olabileceği süreler belirlenir. Bulunabilirlik analizinin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$A_i = \frac{T_i}{T_i + t_i} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte A_i : Bulunabilirlik, T_i : Toplam zaman (365 gün) ve t_i : Hattın işletmeye kapalı olduğu süre (Gün).

Bulunabilirlik; hattın kontrol süresi (A_o^T), kusur belirleme süresi (A_o^K), gerekli malzemenin temin süresi (A_o^M) ve düzeltme süresi (A_o^D) gibi alt başlıklarda incelenirse ortalama bulunabilirlik (A_o) denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A_o = A_o^T \cdot A_o^K \cdot A_o^M \cdot A_o^D \quad (5)$$

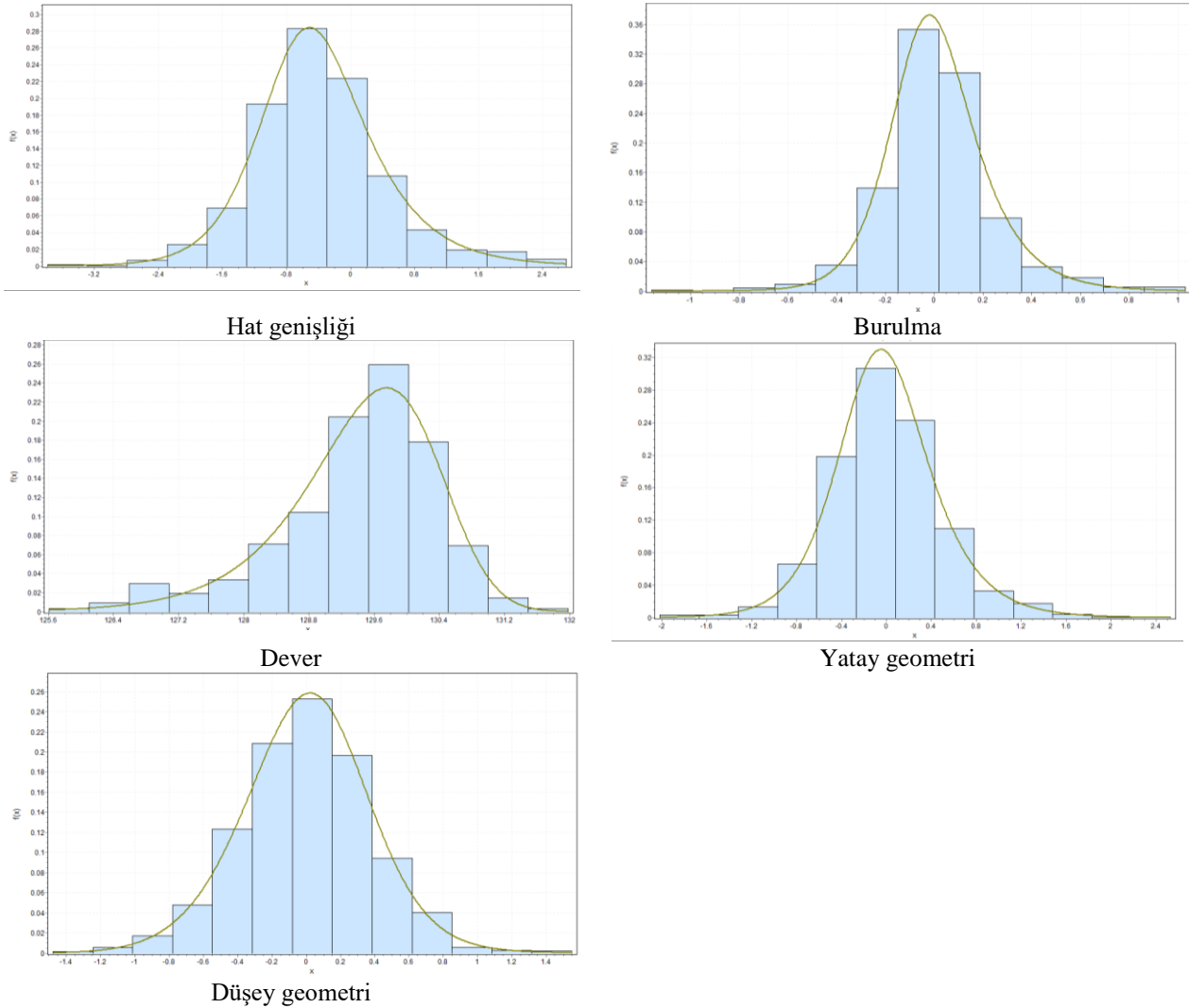
Sürdürülebilirlik analizlerinde hattın istenen kalitede tutulması için belirli bir zaman aralığında gerçekleşebilecek BY faaliyetlerinin olasılığı hesaplanır. Bu çalışmada sürdürülebilirlik analizlerinde Poisson dağılımı dikkate alınmıştır.

$$P(x) = \frac{(\lambda T_i)^x \cdot e^{-\lambda T_i}}{x!} \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitlikte, $P(x)$: Verilen periyotta istenen bakım sayısının gerçekleşme olasılığı, λ : İstenen periyotta gerçekleşen bakım sayısı, T_i : İstenen periyot (365 gün) ve x : Görülme olasılığı

istenen bakım sayısı.

Bu çalışmada Özbekistan Demiryolları'nın yüksek hızlı hatlarının hat ölçüm aracı ile hat geometrisi değerleri (Yatay geometri, düşey geometri, burulma, hat genişliği ve dever) elde edilmiş ve RAMS analizleri yapılmıştır. RAMS analizlerinde hat bakım kesim uzunlukları 50 km dolaylarında alınmıştır. 50 km uzunluktaki hat kesim uzunluklarında yapılan BY çalışma sayıları ve süreleri tespit edilerek bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik analizleri yapılmıştır [3 ve 8]. Güvenirlik analizleri her bir hat geometrisi parametresi için yapılmış ve ilk bakım kesimine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir. Diğer bakım kesimlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. Olasılık yoğunluk fonksiyonları

Olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak en uygun dağılımın Burr Dağılımı olduğu tespit edilmiştir. Burr Dağılımı'nın matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir. Her bir geometri bileşeninin Burr Dağılım katsayıları ise Tablo 2'de verilmiştir. Olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak

kümülatif yoğunluk fonksiyonları ve ardından güvenilirlik fonksiyonları elde edilmiştir. Bakım kesimi önem derecesine göre belirlenen eşik değerler dikkate alınarak her bir parametrenin güvenilirlik derecesi belirlenmiş ve her bir parametrenin güvenilirlik derecesinin % 95 ile % 97 arasında olduğu belirlenmiştir.

$$P(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{k+1}} \quad (7)$$

Tablo 2. Hat geometrisi bileşenleri Burr Dağılımı katsayıları

No	Hat geometrisi	k	α	β	γ
1	Hat Genişliği	0.65227	1.9989E+8	7.5583E+7	-7.5583E+7
2	Burulma	0.65383	5.5314E+7	5.3871E+6	-5.3871E+6
3	Dever	6.0307	182.82	131.04	0
4	Yatay geometri	2.5234	8.6988	2.7152	-2.3727
5	Düşey geometri	0.76866	16113.0	3912.7	-3912.8

Bulunabilirlik analizlerinde her bir bakım kesiminde hat geometrisi bozulmalarının kontrol, kusur belirleme, malzeme temin ve düzeltme süreleri tespit edilmiştir [3]. Tablo 3'te görüldüğü gibi bulunabilirlik oranlarının % 94.47 ile % 95.75 arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 3. Bakım kesimlerinde bulunabilirlik analizlerinin yapılması

No	Kesim uzunluğu (Km)	Kontrol (Gün)	Kusur belirleme süresi (Gün)	Malzeme Temin süresi (Gün)	Düzeltilme Süresi (Gün)	Bulunabilirlik %
1	50	12	4	1	4	94.47
2	50	10	3	1	3	95.49
3	50	11	3	1	3	95.24
4	50	10	3	1	2	95.75
5	50	9	4	1	2	95.75
6	50	10	3	1	2	95.75
7	44	12	4	1	4	94.47

Sürdürülebilirlik analizleri için her bir bakım kesiminde hat geometrisi bozulmalarının düzeltilmesine yönelik olarak yıllık bakım sayıları tespit edilmiş ve günde sıfır BY yapma olasılıkları hesaplanmıştır [3]. Tablo 4'te görüldüğü gibi sürdürülebilirlik oranlarının % 89.13 ile % 92.11 arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 4. Bakım kesimlerinde sürdürülebilirlik analizlerinin yapılması

No	Kesim uzunluğu (Km)	Yıllık BY sayısı	Görülecek BY sayısı (Gün)	P(x)
1	50	36	0	90.61
2	50	42	0	89.13
3	50	30	0	92.11

4	50	44	0	88.64
5	50	30	0	92.11
6	50	30	0	92.11
7	44	41	0	89.38

6. Sonuç ve değerlendirmeler

Özbekistan Demiryolları'nın Taşkent-Semerkant arasında bulunan yüksek hızlı demiryolu hatlarında yapılan bakım ve yenileme çalışmalarının performans değerlendirmesi için RAMS analiz teknikleri kullanılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Hat geometrisi parametrelerin güvenilirlik analizlerinde her bir geometri parametresinin olasılık yoğunluk fonksiyonları ve ardından güvenilirlik dağılım eğrileri tespit edilebilmiştir. Hat geometrisi dağılım eğrilerinin zamana bağlı olarak tespit edilmesi durumunda ileriye yönelik olarak hatlara yapılacak uygun BY çalışmalarını belirlemek mümkündür. Demiryolu hatlarının emniyetini ve konforunu artırmaya yönelik olarak yapılan periyodik kontroller, kusurların belirlenmesi çalışmaları, ilgili planlı BY ve düzeltici BY çalışmaları ile bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik analizleri yapılmıştır. BY kesimlerinin bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik oranlarını yorumlayarak ilgili ve kritik öneme sahip kesimlerde iyileştirmeler yaparak demiryolu hattının performansını artırmak mümkündür. Emniyet analizlerinde ise güvenilirlik, bulunabilirlik ve sürdürülebilirlik oranlarına bakarak hattın emniyetine yönelik risk analizleri yapmak mümkündür.

Kaynaklar

- [1] Güler, H. Demiryolu Hat Geometrisi Bozulmasının Bilgi Sistemler Destekli Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 2-20.
- [2] Gautier, P. E. Slab track: Review of existing systems and optimization potentials including very high speed Original Research Article, *Construction and Building Materials*, **92** (1), 2015, 9-15.
- [3] O'zbekiston Temir Yo'lları, <http://www.railway.uz>, 28.06.2017.
- [4] Guler, H. (2013). A Decision Support System for Railway Track Maintenance and Renewal Management, *Journal of Computing in Civil Engineering*, **27** (3), 292-306.
- [5] Guler, H., Jovanovic, J. and Evren, G. (2011). Modelling railway track geometry deterioration, *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Transport*, **164** (2), 65-75.
- [6] British Standards Institution. "Railway applications. Track. Track geometry quality. Characterisation of track geometry." BS 13848-1, 2008, London.
- [7] British Standards Institution. Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Basic requirements and generic process, BS EN 50126-1, 1999, London.
- [8] Infotrans, <http://www.infotrans-logistic.ru>, 28.06.2017.