

LİDAR TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK VARLIK YÖNETİMİ İÇİN ENVANTER SAYISALLAŞTIRILMASINA ÖRNEKLER – DEMİR YOLU ENVANTERİ SAYISALLAŞTIRILMASI VE VAGON GENİŞLETİLMESİ DURUMUNDA OLASI ÇARPMALARIN TESPİTİ

Nazmiye ANAÇ¹

¹Harita Mühendisi, ESC Mühendislik A.Ş., CBS Departmanı, 01130, Seyhan, Adana, nazmiye.anac@escmuhendislik.com.tr

ÖZET

LİDAR (Light Detection and Ranging), lazer ışınları kullanarak bir hedefin mesafesini ve yüzey özelliklerini belirleyen bir uzaktan algılama teknolojisidir. Lazer darbeleri gönderilir ve hedefe çarpıp geri dönen ışığın zamanı ölçülerek mesafe hesaplanır. Bu teknoloji, üç boyutlu (3D) modelleme ve haritalama için yüksek çözünürlüklü veriler sağlar. LİDAR teknolojisi, varlık yönetimi süreçlerinde büyük bir yenilik sunar. Yüksek hassasiyetli ve detaylı 3D veriler sağlayarak, varlıkların doğru bir şekilde envanterinin çıkarılmasını, durumlarının izlenmesini, bakım ve onarım çalışmalarının planlanmasını ve kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu sayede, işletmeler ve kamu kurumları, operasyonel maliyetlerini azaltabilir ve varlıklarının ömrünü uzatabilir.

LİDAR teknolojisi, demir yolu envanterinin sayısallaştırılması ve yönetiminde de devrim niteliğinde bir araçtır. Yüksek hassasiyetli ve hızlı veri toplama kapasitesi, demir yolu altyapısının detaylı ve doğru bir şekilde belgelenmesini sağlar. Bu sayede, bakım planlaması, güvenlik yönetimi ve yapısal sağlık izleme süreçleri iyileştirilebilir. Demir yolu işletmeciliğinde verimliliği artırarak, güvenli ve sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı oluşturulmasına katkıda bulunur.

Bu çalışma, demir yolunun mobil LİDAR cihazı kullanılarak envanter sayısallaştırılmasını ve vagon genişletilmesi durumunda olası envanter çarpmalarının tespiti kapsamaktadır. Çalışma 1, demir yolu sorumluluk alanındaki sabit donatıların, ray izlerinin ve geometrisinin, makasların, elektrik iletim hatlarının, ses duvarlarının, çitlerin ve peronların, gerçek koordinatlı ve mm hassasiyetinde hesaplanmasını ve coğrafi veri tabanı için altlık oluşturulmasını içermektedir. Çalışma 2, Çalışma 1’de elde edilen nokta bulutu verisi ve bu verilerden elde edilen ray izleri ve geometrisinin kullanılarak trenlerin vagonlarının genişletilmesi durumunda olası envanter çarpmalarının tespiti ve bu envanterlerin sayısallaştırılmasını içermektedir.

Anahtar Sözcükler: Demir Yolu, Envanter Sayısallaştırma, LİDAR, Varlık Yönetimi.

EXAMPLES OF INVENTORY DIGITALIZATION FOR ASSET MANAGEMENT USING LIDAR TECHNOLOGY – DIGITIZATION OF RAILWAY INVENTORY AND DETECTION OF POSSIBLE CRASHES IN CASE OF WAGON EXPANSION

ABSTRACT

LIDAR (Light Detection and Ranging) is a remote sensing technology that determines the distance and surface characteristics of a target using laser beams. Laser pulses are sent out, and the distance is calculated by measuring the time it takes for the light to hit the target and return. This technology provides high-resolution data for three-dimensional (3D) modeling and mapping. It offers a significant innovation in asset management processes by providing high-precision and detailed 3D data, enabling accurate inventory of assets, monitoring their conditions, planning maintenance and repair activities, and effectively managing resources. Consequently, businesses and public institutions can reduce operational costs and extend the lifespan of their assets.

LIDAR technology is a revolutionary tool in the digitization and management of railway inventory. Its high-precision and fast data collection capacity allows for detailed and accurate documentation of railway infrastructure. This improves maintenance planning, safety management, and structural health monitoring processes. By increasing efficiency in railway operations, it contributes to the creation of a safe and sustainable transportation infrastructure.

These study examples include the digitization of railway inventory using a mobile LIDAR device and the detection and digitization of potential inventory collisions in the event of wagon expansion. Study 1 involves the precise calculation with real coordinates and mm accuracy of fixed installations, track alignments and geometry, switches, electric transmission lines, sound barriers, fences, and platforms within the railway responsibility area and the creation of a base for the geographic database. Study 2 includes the detection and digitization of potential inventory collisions in the event of wagon expansion using the point cloud data obtained from Study 1 and the track alignments and geometry derived from this data.

Keywords: Asset Management, Inventory Digitization, LİDAR, Railway.

1. GİRİŞ

LIDAR, günümüzde kullanılan en ileri teknolojilerden biridir (Yılmaz ve Yakar, 2006). LIDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi, güncel uzaktan algılama ve mekânsal veri toplama yöntemleri içinde kritik bir öneme sahiptir (Ustundag, 2008). Lazer ışınları kullanarak hedeflerin mesafelerini ve yüzey morfolojilerini hassas bir şekilde X, Y ve Z koordinatlarında ölçen bu teknoloji, günümüzde pek çok disiplin ve sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. LIDAR, lazer darbelerinin bir yüzeye gönderilmesi ve geri yansıyan ışığın süresinin ölçülmesi yoluyla mesafeyi hesaplama ilkesine dayanmaktadır. Bu teknikle elde edilen veriler, yüksek çözünürlüklü üç boyutlu (3D) modellerin ve haritaların oluşturulmasında son derece hassas bir veri kaynağı sağlamaktadır (Shan ve Toth, 2018).



Şekil 1. Demir yolu ölçüm öncesi arazi etüdü veya ön analiz çalışması.

2. LIDAR TEKNOLOJİSİNİN TEMEL PRENSİPLERİ VE AVANTAJLARI

LIDAR sistemleri, çeşitli platformlara entegre edilerek kullanabildiği için geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu platformlar arasında hava araçları, insansız hava araçları (İHA'lar) ve yerüstü taşıtları bulunur. Ayrıca, taşınabilir LIDAR cihazları, sırt çantası veya elle taşınarak da kullanılabilir. LIDAR teknolojisi, X, Y ve Z koordinatlarında yüksek doğrulukla veri toplama kapasitesine sahip olup, geniş alanların hızlı ve detaylı bir şekilde haritalanmasını sağlar. Bu teknoloji, yüksek çözünürlük ve hızlı veri edinimi sunarak çeşitli yüzey tiplerini analiz etme yeteneği sağlar. Hem iç hem de dış mekân uygulamaları için uygundur (Di Stefano ve ark, 2021).

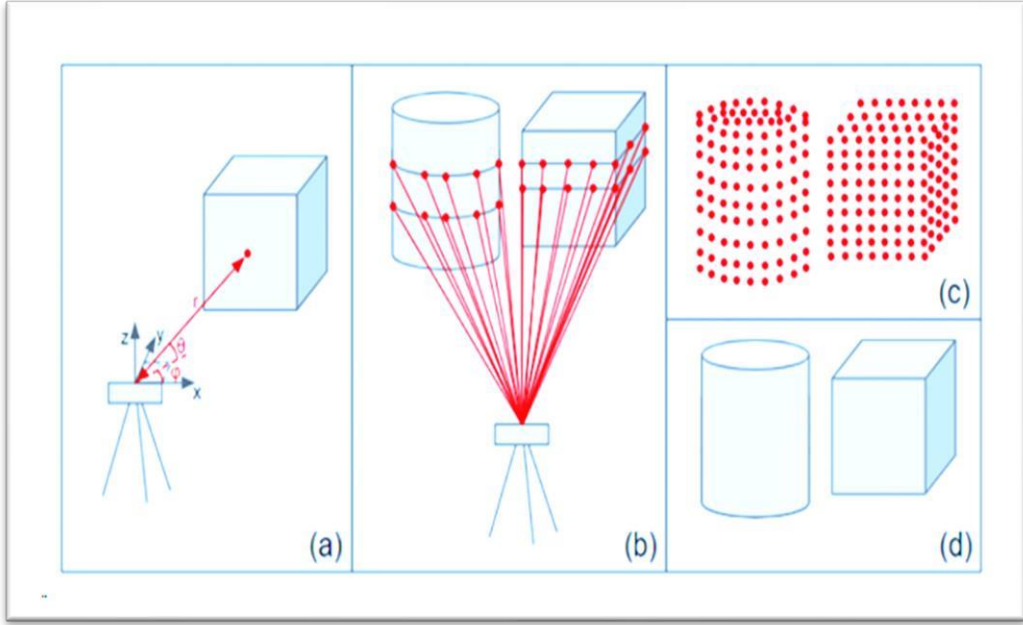


Şekil 2. Mobil LIDAR ve giyilebilir LIDAR ölçüm cihazları.

- 1. Yüksek Çözünürlük:** LIDAR sistemleri, santimetre düzeyinde hassasiyetle veri toplar ve bu yüksek doğruluk, detaylı ve yüksek çözünürlüklü üç boyutlu modellerin oluşturulmasını sağlar. Bu sayede karmaşık yapılar ve geniş alanlar üzerinde ayrıntılı analizler yapılabilme imkânı sağlar (He ve Weng, 2018).
- 2. Hızlı Veri Toplama:** LIDAR teknolojisi, geniş alanların kısa sürede taranmasını sağlayarak, büyük ölçekli projelerde zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sunar (Staats, 2021).
- 3. Farklı Hedeflerin Ölçümü:** LIDAR teknolojisi hem doğal hem de yapay yapılar dahil olmak üzere çeşitli yüzey tiplerini yüksek hassasiyetle ölçme yeteneğine sahiptir, bu da onun geniş bir uygulama yelpazesine sahip olmasını ve farklı türdeki yapılar üzerinde kapsamlı analizler yapılmasını sağlar (Dong ve Chen, 2017).
- 4. İç ve Dış Mekân Uygulamaları:** LIDAR teknolojisi hem iç mekânlarda hem de dış mekânlarda etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu çok yönlülük, çeşitli ortamlar ve uygulama senaryoları için geniş bir kullanım yelpazesi sunar. İç mekânlarda LIDAR; bina içi yapılar, altyapılar ve detaylı iç mekân haritalama gibi uygulamalar için yüksek hassasiyetli veriler sağlar. Dış mekânlarda ise, geniş alanların hızlı bir şekilde taranması, doğal özelliklerin analizi ve çevresel değişikliklerin izlenmesi gibi işlemleri gerçekleştirmek mümkündür (Li ve ark, 2020).

2.1. LIDAR Teknolojisinin Varlık Yönetimindeki Rolü ve Uygulamaları

Varlık yönetimi, belirli bir altyapının, tesisin veya sistemin sahip olduğu tüm varlıkların takibini, bakımını ve iyileştirilmesini içeren bir süreçtir. LIDAR teknolojisi, varlıkların dijitalleştirilmesini, hassas haritalar ve modeller oluşturulmasını sağlayarak varlık yönetimini daha etkin bir hale getirir. LIDAR ile varlık yönetimi aşağıdaki başlıklarda büyük katkılar sunar:



Şekil 3. LIDAR sistemlerinin çalışma prensibi.

- 1. Envanter ve Sayısallaştırma:** LIDAR, özellikle geniş alanların taranması ve envanterinin çıkarılması için son derece uygundur. Havadan veya karadan yapılan taramalar sayesinde, binalar, yollar, köprüler, elektrik hatları, doğal varlıklar gibi çeşitli altyapı unsurları hızlı bir şekilde sayısallaştırılabilir. Sayısal envanter sayesinde, varlıkların mevcut durumu ve konumları hassas bir şekilde dijital ortama aktarılır. Bu da varlıkların yönetimini kolaylaştırır ve uzun vadeli planlamalarda önemli bir veri kaynağı sağlar.
- 2. 3D Modelleme ve Görselleştirme:** LIDAR ile elde edilen yüksek çözünürlüklü veriler, varlıkların 3D modellerinin oluşturulmasına olanak tanır. Bu modeller, varlıkların dijital ortamda ayrıntılı bir şekilde görselleştirilmesini sağlar. Özellikle şehir planlaması, enerji hatlarının izlenmesi, demir yolu ve otoyol altyapısının yönetimi gibi projelerde 3D modeller, karar alma süreçlerinde kritik bir rol oynar.
- 3. Bakım ve Denetim:** LIDAR verileri, varlıkların düzenli olarak denetlenmesini ve bakım ihtiyaçlarının belirlenmesini sağlar. Örneğin, demir yolu hatları veya enerji iletim hatları gibi varlıkların durumunu izlemek için düzenli taramalar yapılabilir. Bu sayede, potansiyel sorunlar erken tespit edilerek bakım süreçleri optimize edilir. Bu da maliyetlerin azaltılmasını ve operasyonel verimliliğin artırılmasını sağlar.
- 4. Risk Yönetimi ve Analiz:** Varlık yönetiminde risk yönetimi, kritik bir süreçtir. LIDAR teknolojisi, riskli bölgeleri belirlemek için detaylı veri sağlar. Örneğin, binaların depreme dayanıklılığı veya elektrik hatlarının potansiyel riskleri, LIDAR ile yapılan taramalar sonucunda analiz edilebilir. Bu sayede, doğal afetlere veya yapısal sorunlara karşı proaktif önlemler alınabilir.
- 5. Veri Entegrasyonu:** LIDAR ile toplanan veriler, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi diğer dijital yönetim sistemleri ile entegre edilebilir. Bu entegrasyon, varlıkların konum bazlı izlenmesini ve yönetilmesini sağlar. LIDAR verilerinin CBS ile entegre edilmesi, büyük altyapı projelerinde daha verimli bir veri yönetimi sağlar ve karar verme süreçlerini hızlandırır.

2.2. LIDAR Teknolojisinin Varlık Yönetiminde Kullanıldığı Alanlar

- 1. Şehir Planlaması ve Altyapı Yönetimi:** LIDAR teknolojisi, şehirlerin ve altyapıların üç boyutlu modellerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu üç boyutlu modeller, şehir planlamasında yeni projelerin tasarımı ve mevcut altyapının etkin yönetimi için kritik öneme sahiptir. Özellikle yollar, köprüler, tüneller ve su altyapısı gibi altyapı varlıkları, LIDAR ile ayrıntılı bir şekilde analiz edilebilir ve bu sayede yapısal değerlendirmeler ve planlama süreçleri daha hassas bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- 2. Enerji ve İletim Hatları:** LIDAR, enerji iletim hatlarının ve diğer elektrik altyapısının düzenli olarak izlenmesi için kullanılır. Hatların güzergahındaki ağaçlar, binalar veya diğer yapısal engeller tespit edilerek, elektrik hatlarının güvenli çalışmasını sağlamak için proaktif bakım yapılabilir.
- 3. Doğal Kaynak Yönetimi:** LIDAR teknolojisi, ormanlar, su kaynakları ve diğer doğal varlıkların izlenmesinde yüksek doğruluk sağlar. Özellikle, orman alanlarında LIDAR ile ağaçların yoğunluğu, yüksekliği ve sağlık durumu detaylı bir şekilde ölçülebilir. Bu veriler, sürdürülebilir orman yönetimi, ekosistem sağlığının izlenmesi ve doğal kaynakların korunması için kritik bilgiler sunar.

4. **Ulaşım Altyapısı:** LIDAR teknolojisi, demiryolları, karayolları ve havayolları gibi ulaşım altyapılarının taranmasında yüksek doğruluk sağlar ve bu altyapıların düzenli bakımını kolaylaştırır. Özellikle demir yolu altyapısında, LIDAR; rayların, makasların ve peronların sayısallaştırılmasını sağlar, bu da bakım süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesine ve altyapının durumunun hassas bir şekilde izlenmesine olanak tanır.

2.3. Demir Yolu Altyapısı ve Üstyapısında LIDAR Teknolojisinin Kullanımı

Demir yolu altyapısı, geniş bir yelpazeye ve karmaşık bir düzene sahiptir ve bu altyapının doğru bir şekilde planlanıp yönetilmesi büyük önem taşır. LIDAR teknolojisi, demir yolu altyapısının yönetimi için özellikle son yıllarda popüler hale gelmiştir ve sayısallaştırılmasında önemli bir araçtır. Demir yolu altyapısının sayısallaştırılması, mevcut altyapının dijital ortamda ayrıntılı bir şekilde modellenmesini ve izlenmesini içerir. LIDAR teknolojisi, bu süreçte çeşitli avantajlar sağlar (Turan, 2022).



Şekil 4. LIDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutu.

3. DEMİR YOLU ENVANTERİNİN SAYISALLAŞTIRILMASI

Demir yolu envanterinin sayısallaştırılması, günümüz demir yolu altyapısının yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Gelişmiş teknoloji ve veri işleme yöntemleri sayesinde, demir yolu varlıkları dijital ortamlara taşınarak daha etkin bir yönetim sağlanabilmektedir. Bu süreçte kullanılan LIDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi, demir yolu envanterinin hızlı, hassas ve detaylı bir şekilde dijitalleştirilmesini sağlar. Sayısallaştırılan veriler, demir yolu altyapısının bakımı, onarımı ve iyileştirilmesi süreçlerinde önemli bir veri kaynağı oluşturur.



Şekil 5. LIDAR ölçümlerinden elde edilen 360 panoramik fotolar.

3.1. Demir Yolu Envanterinin Önemi

Demir yolu altyapısının etkin yönetimi, varlıkların sürekli olarak izlenmesi ve güncellenmesi ile mümkündür. Demir yolu envanteri, raylar, köprüler, tüneller, peronlar, elektrik hatları, sinyalizasyon sistemleri ve diğer yapısal varlıkları içerir. Geleneksel yöntemlerle bu varlıkların izlenmesi zaman alıcı ve maliyetli olabiliyorken, sayısallaştırma teknolojileri bu süreci kolaylaştırır ve hızlandırır. Sayısal veri tabanları, altyapının her bir parçasının düzenli olarak güncellenmesini ve izlenmesini sağlar.

3.2. LIDAR Teknolojisi ile Sayısallaştırma

LIDAR teknolojisi, demir yolu envanterinin sayısallaştırılmasında başlıca kullanılan araçlardan biridir. Bu teknoloji, lazer darbeleri göndererek yüzeylerin hassas bir şekilde haritalanmasını sağlar. LIDAR, hava, kara ve raylı sistemler üzerinde kullanılabilir ve yüzeylerin 3D haritalarını oluşturur. Demir yolu altyapısının LIDAR ile sayısallaştırılması sürecinde, ray izleri, köprüler, tüneller, peronlar, elektrik iletim hatları gibi tüm altyapı unsurları detaylı bir şekilde belgelenir.



Şekil 6. LIDAR ölçümleri sonrası sayısallaştırma.

3.3. Veri Toplama Süreci

LIDAR sensörleri, demir yolu hattı boyunca taşınarak lazer darbeleriyle yüzeylerin detaylı ölçümlerini yapar. Bu ölçümler sonucunda raylar, makaslar, köprüler, viyadükler gibi demir yolu unsurları yüksek hassasiyetle dijital ortama aktarılır. LIDAR'ın kullanımı, geniş alanların kısa sürede taranmasını sağlar ve bu sayede detaylı haritalar oluşturulur.

3.4. CBS ile Entegrasyon

Sayısallaştırılan demir yolu envanteri verileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilir. CBS, altyapının dijital haritalarını oluşturarak bu verilerin çeşitli analizler için kullanılmasını sağlar. CBS ile entegre edilen sayısal demir yolu envanteri, planlama ve bakım süreçlerinde önemli bir rol oynar. Örneğin, demir yolu hatlarının düzenli bakım ve onarım süreçleri, bu sayısal veriler üzerinden yürütülerek hataların daha hızlı ve etkili bir şekilde tespit edilmesi sağlanır.

3.5. Sayısallaştırmanın Faydaları

Demir yolu envanterinin sayısallaştırılması, birçok avantaj sunmaktadır:

- **Doğruluk ve Hassasiyet:** LIDAR teknolojisi, cm hassasiyetinde veri toplama kapasitesine sahiptir. Bu da demir yolu altyapısının tüm detaylarının net bir şekilde belgelenmesini sağlar.
- **Hızlı ve Etkili Yönetim:** Sayısallaştırılmış envanter verileri, altyapının daha hızlı bir şekilde izlenmesine ve yönetilmesine olanak tanır. Özellikle bakım ve onarım süreçlerinde bu verilerden yararlanır.
- **Maliyet Verimliliği:** Geleneksel yöntemlere kıyasla sayısallaştırma, uzun vadede bakım ve onarım maliyetlerini düşürür. Sorunların erken tespiti, daha az kaynakla daha hızlı çözüm üretmeyi sağlar.
- **Risk Yönetimi:** Sayısallaştırılmış envanter, risk analizlerinin yapılmasını kolaylaştırır. Potansiyel tehlikeler ve bakım gerektiren alanlar önceden belirlenebilir.

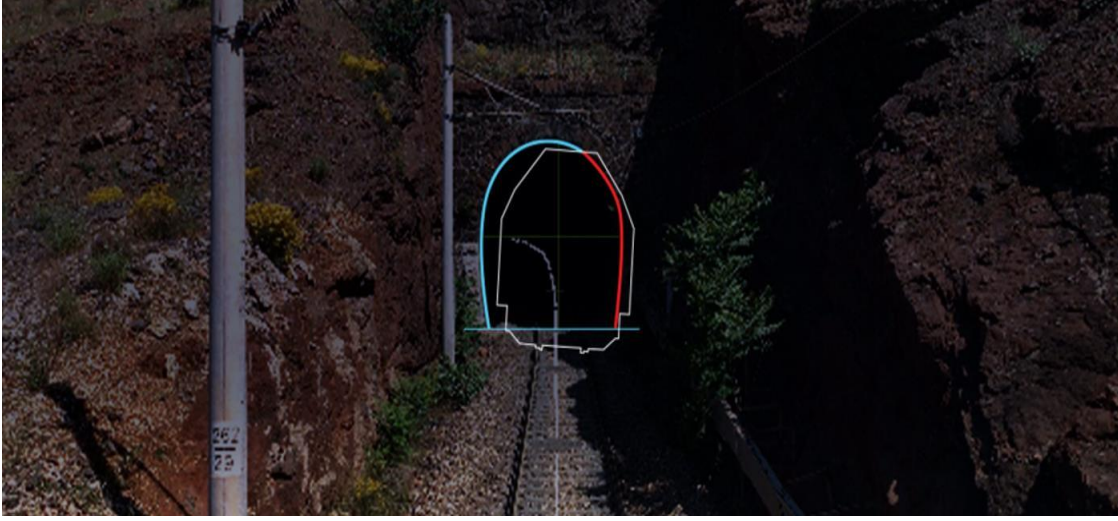
3.6. Uygulama Örnekleri

Farklı ülkelerde LIDAR teknolojisi kullanılarak yapılan demir yolu projeleri, bu teknolojinin faydalarını ve uygulama alanlarını gösterir (Soilán, 2019).

- **Fransa- Ray İzlerinin Ölçülmesi:** Fransa'da LIDAR teknolojisi kullanılarak yapılan projelerde, demir yolu ray izlerinin hassas bir şekilde ölçülmesi ve haritalanması sağlanmıştır. Bu süreçte, LIDAR taramaları sayesinde rayların düzenli bakımının yapılması ve güvenliğin artırılması hedeflenmiştir. Özellikle eski demir yolu hatlarının modernize edilmesi ve genişletilmesi projelerinde LIDAR teknolojisinin büyük katkısı olmuştur.
- **ABD- Yüksek Hızlı Tren Hatlarının İzlenmesi:** ABD'de yüksek hızlı tren hatlarının düzenli olarak izlenmesi için LIDAR sistemleri kullanılmıştır. Bu projede, rayların ve köprülerin detaylı haritaları çıkarılarak, hatlarda oluşabilecek yapısal hasarlar veya aşınmalar hızlı bir şekilde tespit edilmiştir. LIDAR verileri, güvenli tren işletmeciliği için karar destek sistemlerine entegre edilmiştir.
- **Japonya- Deprem Bölgelerindeki Demir yolu Hatları:** Japonya'da, deprem bölgelerindeki demir yolu hatlarının güvenliğini artırmak amacıyla LIDAR teknolojisi kullanılarak taramalar yapılmıştır. Bu taramalarda, demir yolu altyapısının topografik değişimlere karşı nasıl etkilendiği analiz edilmiştir. LIDAR verileri, özellikle deprem sonrası yapılan hızlı müdahalelerde kullanılmıştır.
- **Türkiye- Marmaray Projesi:** Türkiye'deki Marmaray Projesi'nde, Boğaziçi'nin altından geçen demir yolu tünelleri ve bağlantı yolları, LIDAR ile taranarak detaylı bir şekilde modellenmiştir. Bu sayede, tünelin ve hatların düzenli bakımı için gerekli veriler sağlanmış, ayrıca projenin inşaat sürecinde LIDAR teknolojisi sayesinde yapılan doğruluk kontrolleri, güvenli ve başarılı bir geçişin sağlanmasına yardımcı olmuştur.
- **İngiltere- Altyapı Modernizasyonu:** İngiltere'de, demir yolu altyapısının modernizasyonu amacıyla gerçekleştirilen bir projede, LIDAR teknolojisi ile eski hatların 3D modelleri çıkarılmıştır. Bu sayısallaştırma, hem hatlardaki mevcut durumun analiz edilmesini hem de yenileme ve genişletme projelerinin planlanmasını kolaylaştırmıştır. Aynı zamanda raylardaki eğim, yükseklik ve yüzey deformasyonları gibi faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir.
- **Almanya- Otomatik Tren İzleme Sistemleri:** Almanya'da, otomatik tren izleme ve bakım sistemlerine LIDAR teknolojisi entegre edilmiştir. Bu sistemde LIDAR sensörleri, rayları ve altyapı elemanlarını tarayarak, hatlardaki aşınmaları ve hasarları gerçek zamanlı olarak tespit eder. Bu veriler, otomatik bakım sistemlerine aktarılarak, altyapının sürekli izlenmesi ve gerekli bakım önlemlerinin alınması sağlanır.

4. VAGON GENİŞLETİLMESİ DURUMUNDA OLASI ÇARPMALARIN TESPİTİ

Demir yollarında yük taşıma kapasitesini arttırabilmek için vagon genişletmeleri ve değişiklikleri yapılabilir. Bu değişim beraberinde bazı çarpışma risklerini getirir. Çünkü demir yolu altyapısındaki köprü, tüneller vb. yapılar belirli gabari ölçüsüne göre inşaa edilmiştir. Gabari, demir yolu araçlarının güvenle seyahat edilebilmesi için belirlenmiş ölçülerdir. Gabariler yük ve yapı gabarisi olarak ikiye ayrılır. Yük gabarisi vagonların yüklü ya da yüksüz olarak herhangi bir güvenlik önlemi alınmadan geçebileceği yükseklik ve genişlik ölçüleridir. Yapı gabarisi ise yük gabarisinin aşıldığı durumlar için belirlenen maksimum yükseklik ve genişlik ölçüleridir. Bundan dolayı vagon genişletilmesinden sonra güvenli bir sürüşün olabilmesi için bu çarpmaların gabari ölçüleri kullanılarak önceden tespit edilmesi ve analiz edilmesi gerekir. LIDAR verileri, bu etkileşimlerin analizini yaparak çarpma risklerini belirlemede büyük bir rol oynar.



Şekil 7. Yapı Gabarisi ile çarpışma analizi.

4.1. Çarpma Risklerinin Analizi

LIDAR teknolojisi, vagon genişletilmesi sırasında olası çarpmaların analiz edilmesine yardımcı olur. Bu analiz, varlıklarla vagonlar arasındaki mesafelerin hesaplanmasını ve çarpma risklerinin belirlenmesini içerir. LIDAR verileri, genişletilmiş vagonların mevcut altyapı ile etkileşimlerini detaylı bir şekilde inceleyerek, potansiyel çarpma bölgelerini ve olası riskleri belirler. Bu sayede, güvenli bir genişletme süreci sağlanabilir ve altyapının güvenliği artırılabilir.

4.2. Risk Yönetimi ve Önlemler

Çarpma risklerini azaltmak için çeşitli önlemler alınabilir. Bu önlemler, altyapının yeniden düzenlenmesini, vagonların genişletilmesi için gerekli uyarlamaları ve güvenlik önlemlerini içerir. Risk yönetimi süreci, tespit edilen risklere yönelik çözümler geliştirmeyi ve bu çözümlerin uygulanmasını içerir. Ayrıca, düzenli olarak yapılan denetimler ve analizler ile riskler sürekli olarak izlenir ve gerekli önlemler alınır. Bu yaklaşım, hem mevcut altyapının korunmasına hem de güvenli bir demir yolu işletmeciliğine katkıda bulunur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

LIDAR teknolojisi, demir yolu altyapısının ayrıntılı bir şekilde belgelenmesi ve yönetilmesinde kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Yüksek hassasiyetli veri toplama ve modelleme yetenekleri, demir yolu envanterinin etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Bu teknoloji, raylar, makaslar, peronlar ve diğer altyapı bileşenlerinin detaylı üç boyutlu modellerinin oluşturulmasını sağlar, bu da bakım ve onarım süreçlerinin daha doğru ve verimli bir şekilde planlanmasına yardımcı olur. Özellikle, vagon genişletilmesi gibi durumlarda LIDAR, çarpma risklerinin tespit edilmesine ve bu risklerin minimize edilmesi için gerekli önlemlerin alınmasına katkıda bulunur. Güvenli operasyonların sağlanması için bu tür risk analizleri kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, LIDAR teknolojisinin demir yolu projelerinde kullanımı, sadece operasyonel verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik standartlarını da yükseltir, bu da teknolojinin demir yolu sektöründeki potansiyelinin ne denli büyük olduğunu gösterir. Gelecekte, LIDAR teknolojisinin daha geniş bir şekilde entegre edilmesi ve sürekli güncellenmesi, demir yolu altyapılarının uzun ömürlü ve güvenli bir şekilde işletilmesine katkıda bulunabilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya verdiği katkılardan dolayı mesai arkadaşım Bayram Kançuk'a teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M. and Pierdicca, R. 2021. Mobile 3D scanning LIDAR: A literature review. *Geomatics, natural hazards and risk*, 12 (1), 2387-2429. He, Y. ve Weng,

- Dong, P., & Chen, Q.** 2017. LIDAR remote sensing and applications. CRC Press.
- Li, N., Guan, L., Gao, Y., Du, S., Wu, M., Guang, X., & Cong, X.** 2020. Indoor and outdoor low-cost seamless integrated navigation system based on the integration of INS/GNSS/LIDAR system. *Remote Sensing*, 12(19), 3271.
- Q. (Ed.)**. 2018. High spatial resolution remote sensing: data, analysis and applications. CRC press. Staats, T. P. (2021). Photogrammetry UAV and terrestrial LIDAR, A comparative review in Volumetric surveys.
- Shan, J. & Toth, C. K. (Eds.)**. 2018. Topographic laser ranging and scanning: principles and processing. CRC Press.
- Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A., del Río-Barral, P., Perez-Collazo, C., Arias, P., & Riveiro, B.** 2019. Review of laser scanning technologies and their applications for road and railway infrastructure monitoring. *Infrastructures*, 4(4), 58.
- Ustundag, Ö.** 2008. MEKANSAL ANALİZLERDE HAVA LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING) VERİLERİNDEN YARARLANMA OLANAKLARI. *Nature Sciences*, 3(3), 453-463.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M.** 2006. LIDAR (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.