



Demiryollarında Jeolojik Tehlikelerin Belirlenmesi ve Afet Risk Yönetimine Katkısı

Emre Aytuğ ÖZSOY^{ORCID}

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Yapı Denetim Programı, Eskişehir, Türkiye

eaoszoy@eskisehir.edu.tr

(Alınış/Received: 30.05.2023, Kabul/Accepted: 10.07.2024, Yayımlama/Published: 31.07.2024)

Öz: Günümüzde iklim değişikliği ve küresel ısınmanın etkisiyle her geçen gün yaşanan afet sayısı artmaktadır. Afetlerin dünya ölçeğinde dağılımına bakıldığında Deprem şüphesiz ilk sırayı almaktadır. Bilindiği üzere ülkemiz 11 ilimizi yakından etkileyen 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerini yaşamıştır. Kısa aralıklarla ve şiddeti yüksek olan bu iki deprem sonrası can ve mal kayıplarımız üzücü bir tablo haline gelmiştir. Deprem sonrası Ulaştırma-Lojistik açısından incelediğimizde 11 ilin kara-hava ve demir yolu bağlantıları afetin ilk 72 saatinde maalesef sekteye uğramıştır. Demiryolları özelinde bu tabloyu incelediğimizde Demiryollarında Jeolojik Tehlikelerin belirlenmesinin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır: Deprem, Heyelan, Oturma-Çökme ve Taşkın-çamur akması gibi jeolojik etkenler demiryollarında jeolojik tehlike risklerinin önde gelenidir. Bu riskler tekil olmayıp deprem sırasında ikili üçlü etkiler yaratabilmektedir. Yapılan bu çalışmada Demiryollarında Jeolojik olası riskler belirlenerek bu risklerin afet risk yönetimine katkısı incelenmiş ve bu kapsamda çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Demiryolu, Jeolojik Tehlikeler, Deprem, Afet Risk Yönetimi, K. Maraş Depremleri

Identification of Geological Hazards in Railways and Its Contribution to Disaster Risk Management

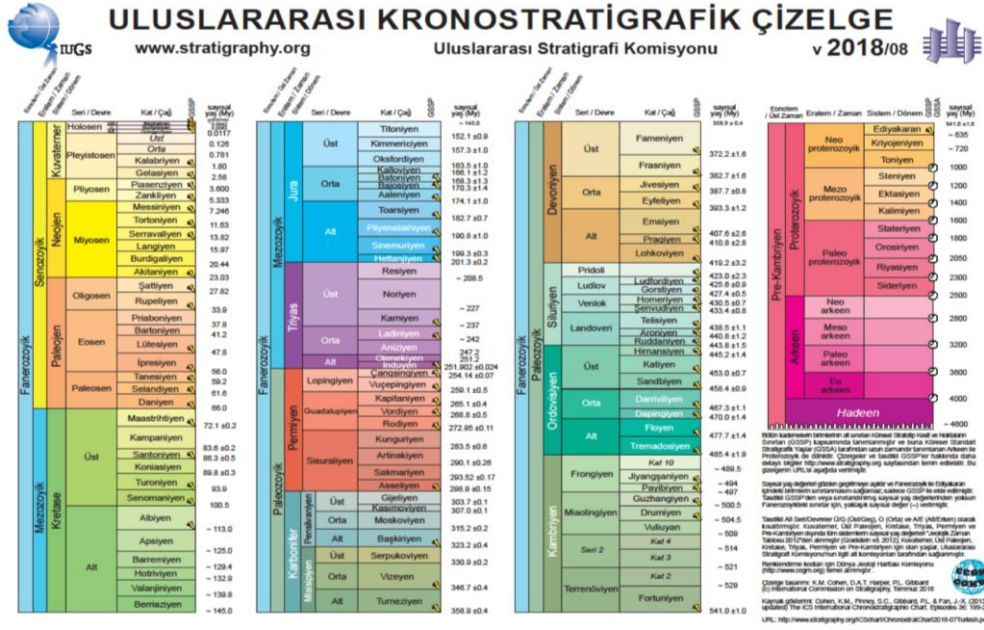
Abstract: Nowadays, the number of disasters is increasing day by day due to the effects of climate change and global warming. When looking at the distribution of disasters on a world scale, Earthquake undoubtedly ranks first. As it is known, our country experienced the Kahramanmaraş earthquake on February 6, 2023, which closely affected 11 provinces. After these two earthquakes that occurred at short intervals, our loss of life and property became a sad picture. When we examine the aftermath of the earthquake in terms of Transportation-Logistics, unfortunately the land-air and railway connections of 11 provinces were disrupted in the first 72 hours of the disaster. When we examine this table specifically for railways, the importance of determining Geological Hazards in Railways has once again emerged: Geological factors such as Earthquake, Landslide, Subsidence-Collapse and mud flow are the leading geological hazard risks in railways. These risks are not singular, but can create double or triple effects during an earthquake. In this study, possible geological risks in railways were determined and the contribution of these risks to disaster risk management was examined and solution suggestions were presented in this context.

Keywords: Railway, Geological Hazards, Earthquake, Disaster Risk Management, K. Maras Earthquakes

1. Giriş

Jeoloji bilimi dünyanın oluşumundan günümüze kadar geçen yaklaşık 4,5 milyar yıllık süreçte tanıklık etmektedir. Jeolojik zaman cetveline bakıldığında Jeoloji ve Jeolojik Zaman üzerine kafa yoran kişilerin göreceli geniş düşünceli olduklarına dair değerlendirmeler yaygındır. Bilgi tabanlı toplum yaratmanın da en kestirme yolu bireylerin doğayı ve yaşadıkları çevreyi algılamalarını sağlamaktır. Şekil 1. de gösterilen Jeolojik Zaman Çizelgesi bu yönde yararlı bir araç olabilir ve başarı ile kullanılabilir [1].

Atıf için/Cite as: E.A. Özsoy, "Demiryollarında jeolojik tehlikelerin belirlenmesi ve afet risk yönetimine katkısı," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 20, ss. 123-140, Temmuz 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1307133



Şekil 1. Türkçeleştirilmiş jeolojik zaman çizelgesi [1]

Jeolojik Zaman Çizelgesi, tam adı ile “Uluslararası Kronostratigrafik Çizelge”, adeta matruşka oyuncakları gibi iç içe geçmiş bilgileri bulundurmaktadır. Oradaki her çizgi, her işaret ve her rakamın temsil ettiği ayrı hususlar vardır. Her Eratem, Sistem, Seri ve kat adının etimolojik ve stratigrafik hikâyesi ayrıdır [2].

Geçen 4,5 milyar yılın özeti şeklinde olan çizelge jeolojik tehlikeleri belirmemizde bizlere yol gösteren bir kaynaktır. Holosen devresi son yaşadığımız dönemi içermektedir. Bu süreç devam ederken paralelinde levha (plaka) tektoniği denilen sistem kıtaların oluşumu ve gelişimine devam etmektedir. Günümüzde yaşanan depremlerin haritası bu sistemin sonucudur. Ülkemiz özelinde bunu incelediğimizde üç ana unsur göze çarpmaktadır:

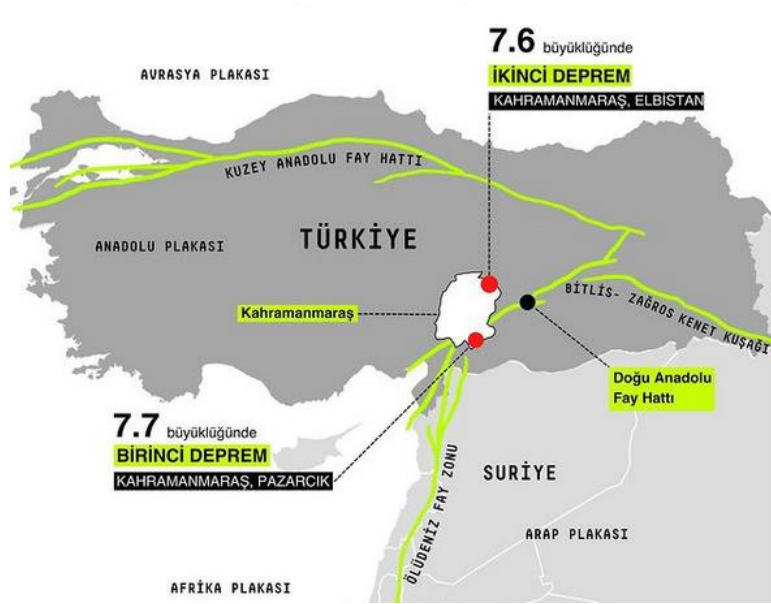


Şekil 2. Türkiye Levha Tektoniği haritası [3]

Birincisi ülkemizin yüz ölçümünün dörde üçünü oluşturan Anadolu levhası; kuzeyde Avrasya levhası ve güneydoğumuzda Arap levhası. Arap levhasının haritada gösterildiği şekilde Anadolu levhasına bindirmesi sonucu her yıl saat istikametinin tersi yönünde Anadolu Levhası yılda 2-3 mm Egeye doğru kaymaktadır. Bununla birlikte kapalı bir sistem özelinde bunu düşündüğümüzde bu fiziğin temel kurallarından etkiye tepki mekanizmasıyla Bitlis-Zagros kuşağı ve Avrasya

levhasının direnciyle Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu meydana gelmiştir. Bu sıkışma sonucu aynı zamanda Afrika levhasının uzantısı Akdeniz sırtı Ege levhasının direncine karşılık Egedeki Horst Graben fay sistemlerini meydana getirmiştir [3].

Bu bağlamda yaşadığımız 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremlerinin odak noktalarını bu sistem üzerine aktardığımızda karşımıza Şekil 3. deki bu harita çıkmaktadır:



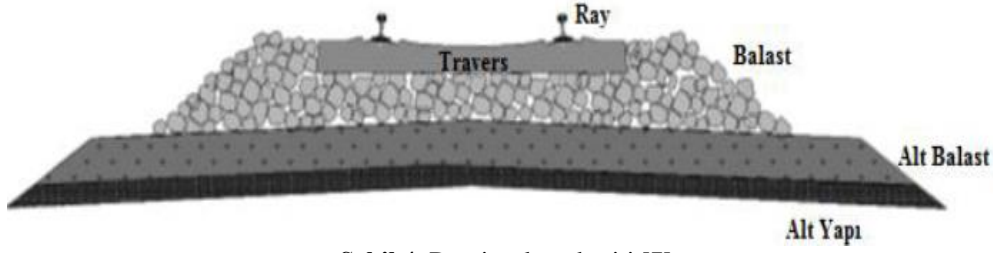
Şekil 3. 6 Şubat 2023 K. Maraş depremlerinin DAF fay zonundaki yerleri [4]

Görüldüğü üzere meydana gelen depremler Doğu Anadolu Fay zonu üzerinde veya kollarında meydana gelmiştir. Bu noktadan hareketle depremler asla tesadüf değildir. Her depremin özelinde depremin kökeni ve istatistiksel parametreleri vardır. Bunlara bağlı olarak Jeolojik tehlikeler belirlenir.

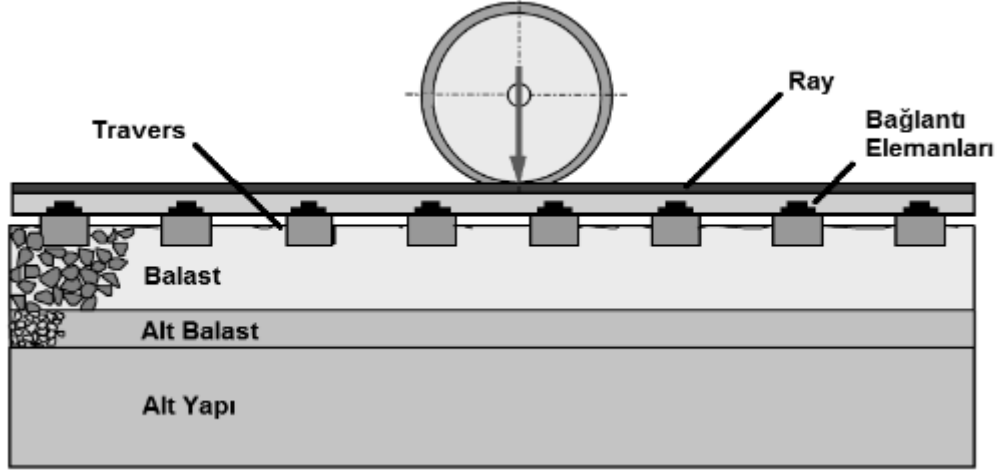
2. Demiryolu Altyapısı ve Jeolojik Tehlikeler

Demiryolu yapısal sistemi, trafik ve iklim etkilerine dayanacak şekilde, yolu ve altyapıyı gelen yüklere karşı korumak, demiryolu taşıtlarının işletme maliyetlerini, yolcuların güvenliğini ve konforunu kabul edilebilir limitlerde tutmak için tasarlanır. Daha hızlı trenler ve yüksek dingil yüklerinin bir arada kullanılması ile maliyetlerin düşürülmesi gereksinimi, sistemin daha iyi anlaşılması ve bunun altyapının davranışı üzerindeki etkisini anlama gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, modern demiryollarının tasarımında jeolojik tehlikelerin geoteknik açıdan değerlendirilmesi ve ekonomik ilkeleri birleştiren akılcı yaklaşımlara gerek duyulmaktadır [5].

Günümüzde, tekerlekli demiryolu taşıtları, balastlı ve balastsız olarak anılan iki tür üst yapı üzerinde hareket etmektedir. Balastlı demiryolu hatları Şekil 4 ve 5' de gösterilen rayların ve traverslerin oluşturdukları yol çerçevesi, bu çerçevenin altına döşenmiş balast-alt balast adı verilen kırma taş tabakaları ve bunların altındaki altyapı adı verilen değişik zemin tabakaları ya da köprü, viyadük, tünel vb. sanat yapılarından oluşmaktadır [6].



Şekil 4. Demiryolu enkesiti [7]



Şekil 5. Demiryolu boykesiti [7]

Alt yapıyı oluşturan jeolojik birimler için Koridor, Güzergâh, Kesin Hat, Ön Proje ve Kesin proje aşamalarında jeolojik-jeoteknik etütler istenmektedir [8]. Bu şartnameye göre Jeolojik etüt çalışması 1/25.000 ölçekli haritalar üzerinde yapılır. Jeolojik etüt:

- Jeolojik formasyonların litolojik, paleontolojik, mineralojik ve petrografik özellikleri,
- Jeolojik formasyonların alansal dağılımı,
- Jeolojik formasyonların istifsel ilişkisi (tarihsel jeolojisi),
- Yapısal özelliklerin harita, tip kesit ve şekillerle açıklanması,
- Ana süreksizlik (tabaka, fay, eklem, uyumsuzluk, dokanak v.b.) sistemlerinin haritalanması,
- Özellikle güncel tektonik açısından araştırmalardan oluşmaktadır.

Şartnamedeki Jeolojik birimler yani formasyonlar Şekil 6’da incelendiğinde Demiryolu açısından Jeolojik Tehlikeler şu şekilde karşımıza çıkar: Deprem (a), Çökme ve Ani Oturmalar (b), Heyelan (c), Taşkın ve Çamur Akmaları (d).



a) Deprem



b) Çökme ve Ani Oturmalar



c) Heyelan



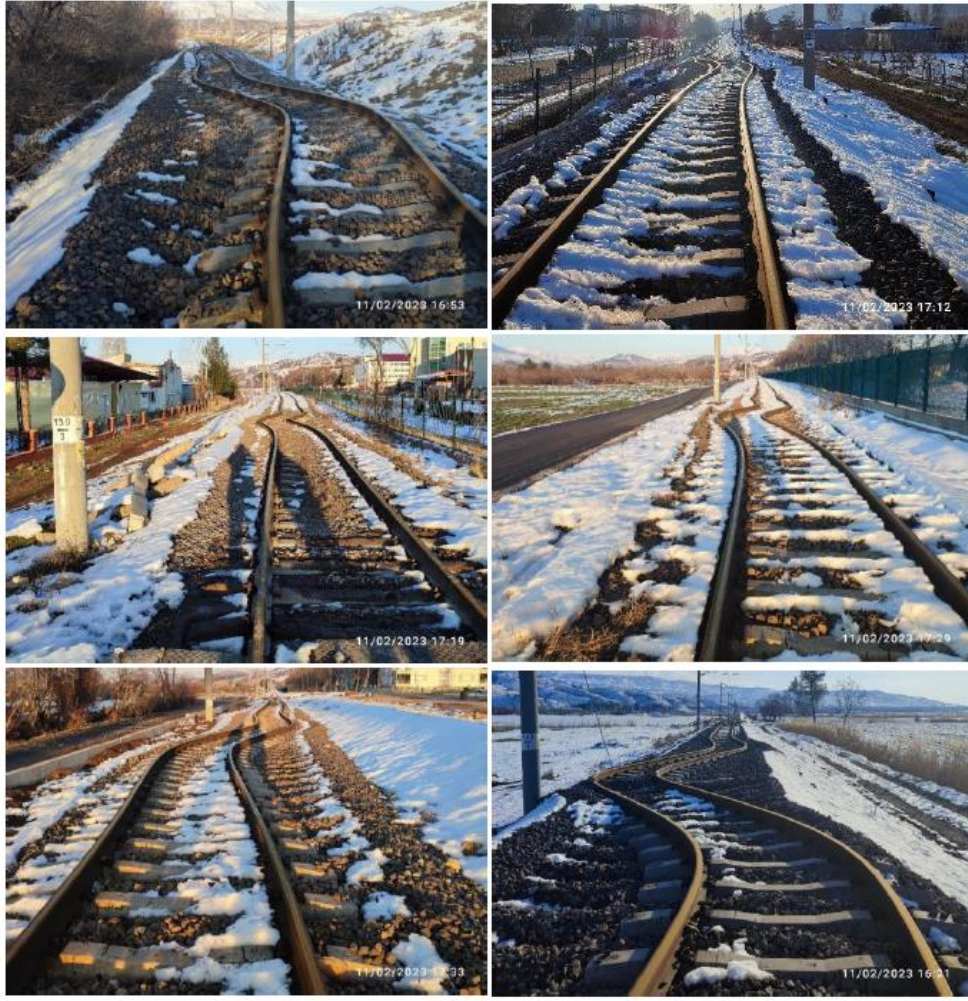
d) Taşkın ve Çamur Akmaları

Şekil 6. demiryollarında jeolojik tehlikeler [9]

2.1. Deprem

Afet dediğimizde hiç şüphesiz ilk sırada deprem yer almaktadır. Yerkürenin doğal bir devinimi olan bu süreç günümüzde teknolojinin gelişmesine karşın halen “Ne zaman deprem olacak?” sorusunu cevapsız bırakmaktadır. Ancak var olan jeolojik verileri ve istatistiksel analizleri kullanarak bu afete karşı önlemler alınması gerekmektedir.

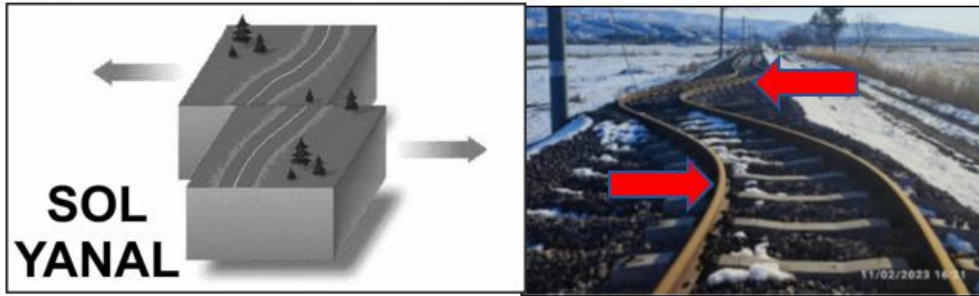
Demiryolları özelinde jeolojik bu risk her daim yaşadığımız depremler sonrasında karşımıza çıkmaktadır. Son yaşadığımız 6 Şubat 2023 K. Maraş depremleri sonrasında Pazarcık ve Gölbaşı tren istasyonlarında deprem etkisine bağlı Şekil 7’de gösterilen yapısal deformasyonlar oluşmuştur [10].



Şekil 7. Fayın yapısal özelliğine bağlı olarak üstyapıdaki deformasyonlar [10]

[10]'nin saha gözlemlerini incelediğimizde Şekil 7' de görülen üst yapı salınımlarının aktörü fayın karakteristik özelliğinde bulunmaktadır. Depremin olduğu bu nokta Şekil 3' de gösterilen haritada Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF) üzerinde meydana gelmiştir.

Bu fayın karakteristik özelliği sol yanal doğrultu atımlı olmasıdır. S-tipi yanal atım diye adlandırılan bu olay fayın bir doğrultu üzerinde iki bloğun farklı yönlerde hareketi sonucudur. Bir başka deyişle bu tür faylarda fay aynasını karşımıza aldığımızda, Şekil 8'de gösterilen biçimde bulunduğumuz taraftaki blok sağa, karşı blok sola hareket etmiştir.



a) Şematik

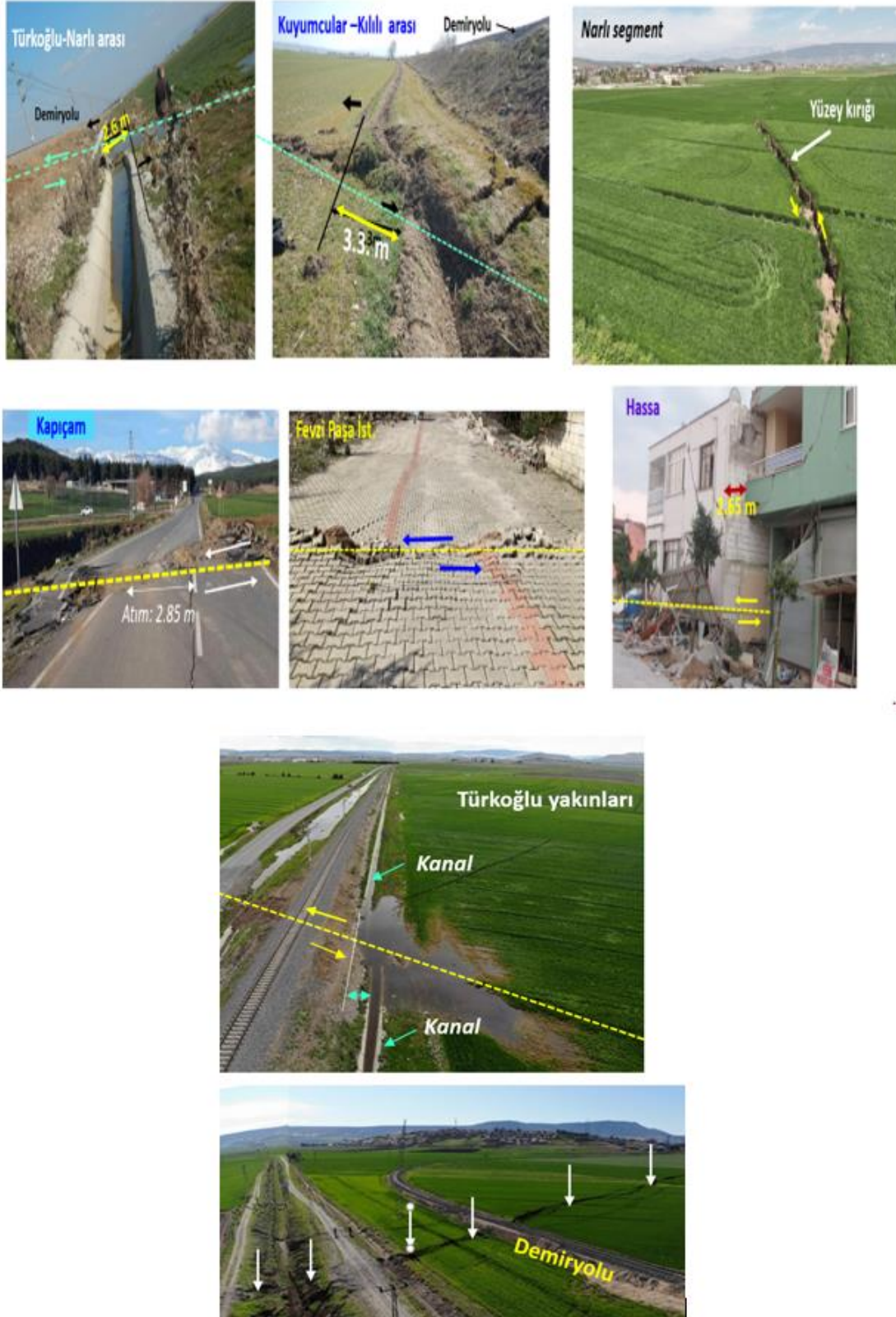
b) Saha [10]

Şekil 8. Doğrultu atımlı sol yanay fayın şematik (a) ve saha (b) görüntüleri

Aynı depremlerde Islahiye -Fevzi paşa Tren istasyonunda yerel zemin özelliklerine bağlı olarak yüksek yer ivmeleri sonucu Şekil 9 gösterilen lokomotif ve vagonlar devrilmiştir.



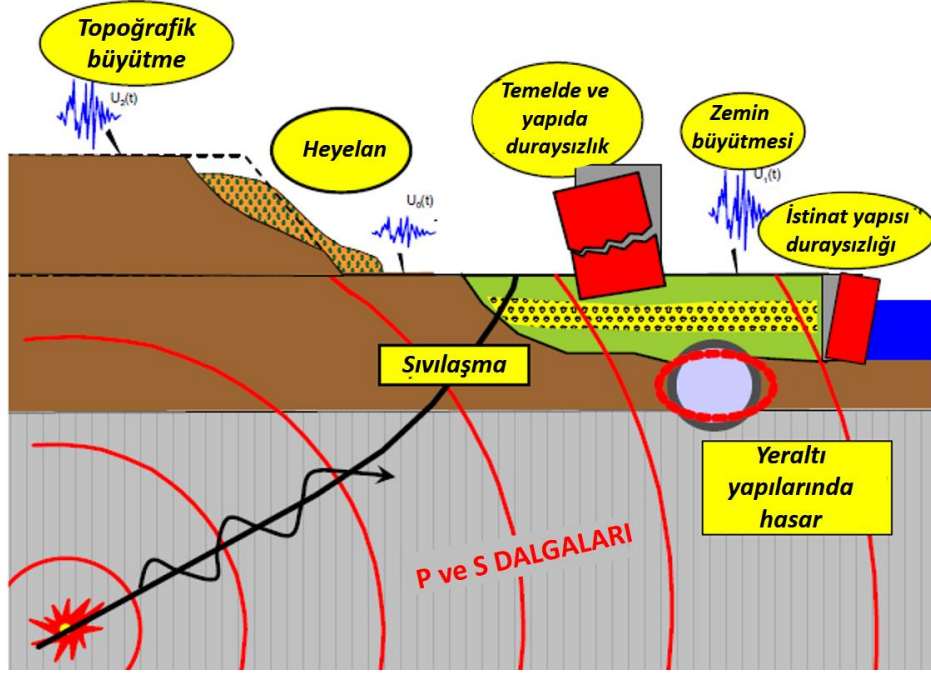
Şekil 9. Devrilen lokomotif ve vagonlar [11]



Şekil 10. Pazarcık depreminin sonrasında meydana atımlar ve saha gözlemleri [11]

Şekil 10'da gösterilen tüm durumlar bölgenin jeolojik yapısı ile ilişkilidir. Bölgede Şekil 1'de gösterilen Jeolojik zaman çizelgesine göre Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller geniş yer kaplar.

Zayıf ve çoğu kez suya doymun zeminler oldukları için Şekil 11’de gösterilen sıvılaşmaya karşı oldukça duyarlılığı yüksektir ve deprem açısından son derece önemlidir.



Şekil 11. Jeolojik açıdan sismik tehlikeler [11]

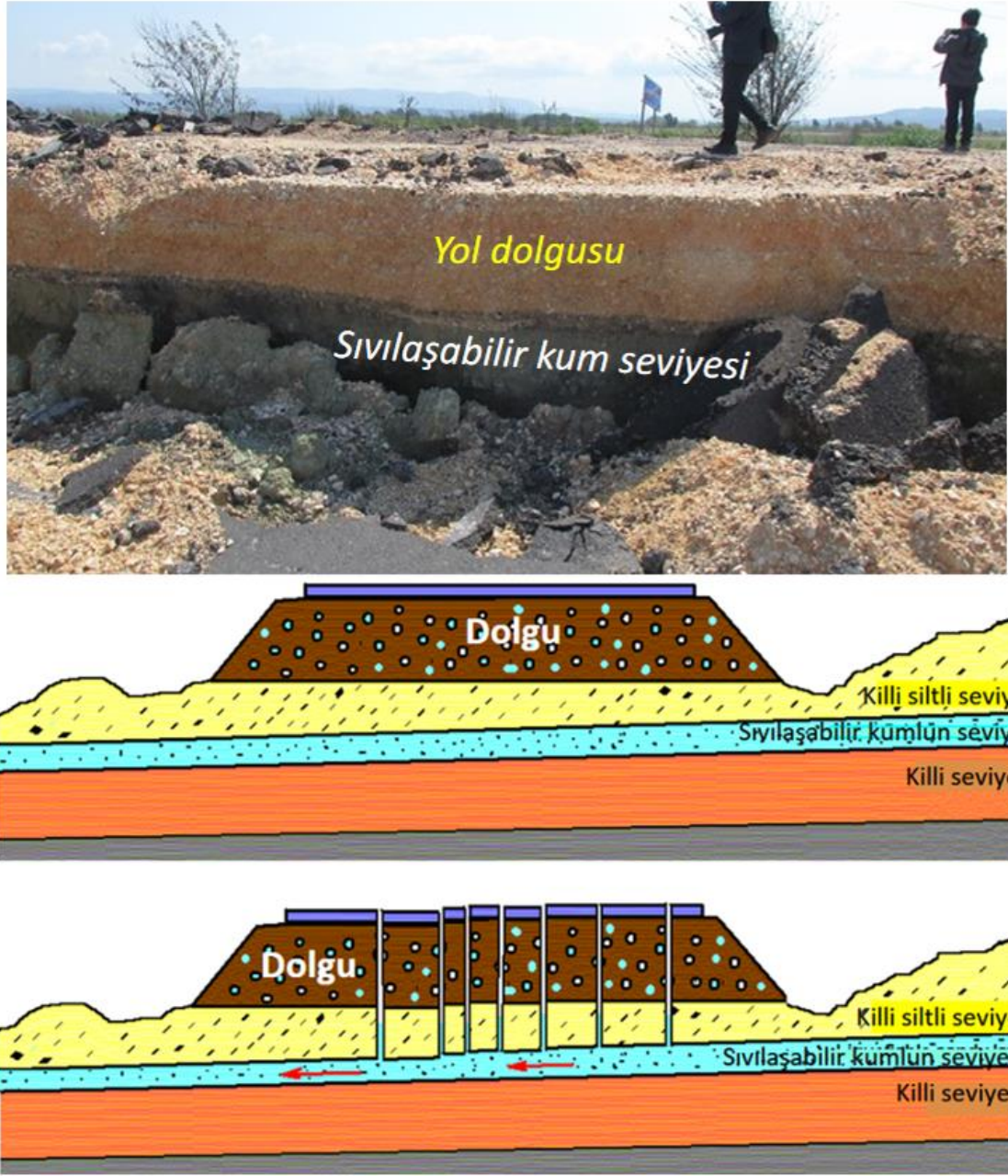
Deprem büyüklüğü arttıkça sıvılaşma deprem kaynağından daha uzak mesafelerde de oluşabilmektedir. Şekil 12 ‘de Gölbaşı tren istasyonunda deprem sonrası sıvılaşma gözlenmiştir.



Şekil 12. Raylarda sıvılaşma Gölbaşı İstasyonu [11]

2.2. Çökme ve ani oturmalar

Depremden sonra Jeolojik tehlikelerinin başında Çökmeler veya Ani oturmalar gelmektedir. Jeolojik katmanların yapısal durumuna göre gelişen bu süreç özellikle dolgu alanlarda Şekil 13’de gösterilen sıvılaşmanın etkisiyle ince taneli malzemelerin (kumlu killi, silt) yeraltı suyu olup olmamasına karşın taşıma güçlerini kaybetmesidir.



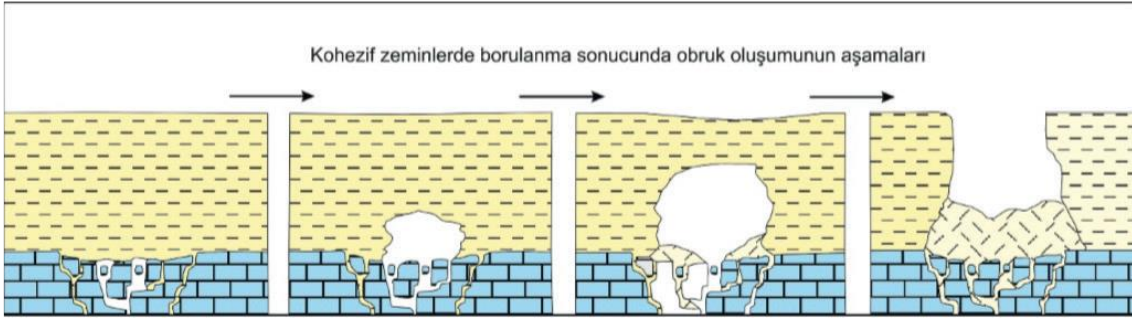
Şekil 13. Sıvılaşma sonucu dolgu zeminlerde çökmeler [11]

Ani oturmalar grubunda bir başka jeolojik tehlike obruk oluşumlarıdır. Obruk oluşumlarında temel faktörler litolojik, hidrojeolojik, tektonik, klimatolojik vb. gibi doğal unsurlar olup, bazen antropojenik etkiler, yani insan aktiviteleri de bu doğal oluşumu hızlandırmakta ve sayısını artırmaktadır.

Obrukların oluşumlarına etki eden temel faktörler genellikle obrukların içinde oluştuğu kayaçların litolojik özellikleri, çevre kayaçlarla etkileşimleri ve bu kayaçların etkileşim halinde bulunduğu yüzey ve yeraltı suyunun nitelikleri ve kuraklık gibi iklimsel faktörlerdir. Ayrıca fay sistemleri ve insana bağlı olarak değişen ortam şartları obruk oluşumlarını tetikleyici etmenlerdir. [12].

Orta Anadolu’da gerçekleştirilen jeolojik, yapısal jeoloji, jeoteknik, mineralojik, jeokimyasal ve hidrojeolojik araştırmalarda obrukların artmasının temel nedeninin aşırı ve kontrolsüz yeraltı suyu kullanımı ve yeraltı su seviyesindeki düşümlere bağlı olduğu öne sürülmektedir [13].

Kohezyonlu topraklarda çökme ani olarak gelişmekte olup yeraltında bulunan boşluklar zaman içinde büyümektedir. Şekil 14’de görüldüğü üzere boşluklar büyüdükçe tavan birimlerinin tabaka kalınlığı azalmakta ve tavanın incilmesi sonucu çökme gerçekleştiğinde dik ve derin çukurlar oluşmaktadır.

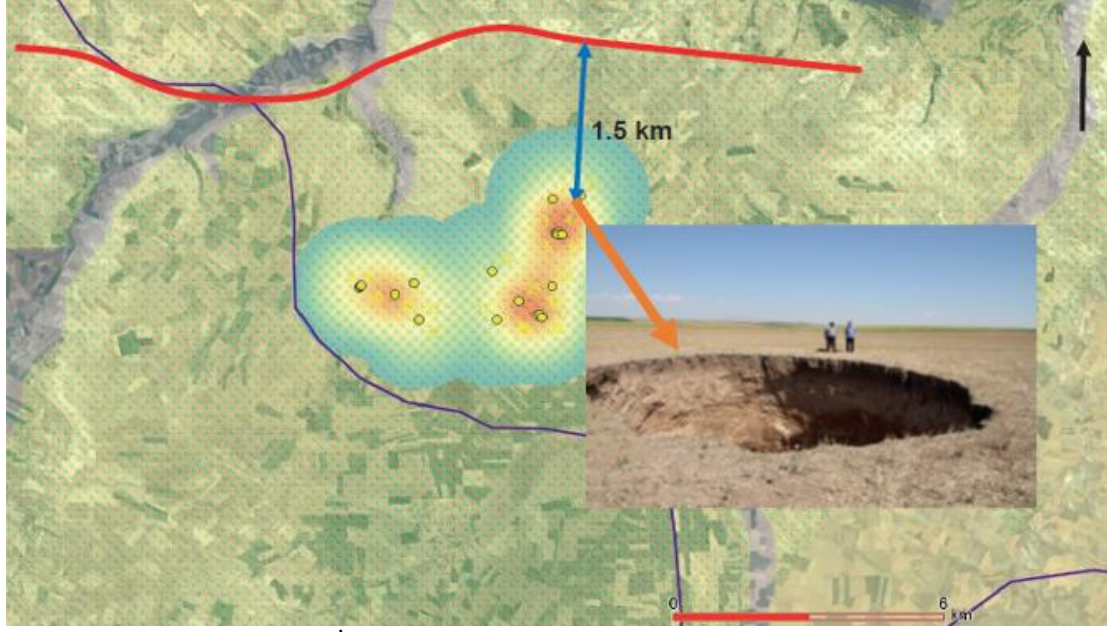


Şekil 14. Kohezyonlu malzeme ile örtülü karstik ortamda “külçe” obruğu oluşum aşamaları [12]

Obruk tehlikesi güncel olarak Eskişehir-Ankara Yüksek Hızlı Tren güzergahına yakın lokasyonlarda meydana gelmektedir. Bunun başlıca nedeni tarımsal sulama adına açılan birçok ruhsatsız kuyudan pompajla aşırı su çekilmesidir. Kuraklığında etkisiyle pompajla çıkarılan suyun yerine aynı hacimde su sirkülasyonu olmadığı için ani oturmalar olmaktadır.

Saha Şekil 15 ‘de gösterilen Eskişehir’e karayolu ile yaklaşık 120 km uzaklıkta Sivrihisar-Emirdağ Karayolunun 35 km doğusunda yer almaktadır. Konya ve Afyon İl sınırlarının kesiştiği noktaya yakındır. Sığırcık Köyüne kadar yol asfalt olup, daha sonra toprak yol olarak devam etmektedir. Obrukların bulunduğu yerler ise tarlalar arasında kaldığı için ulaşım zordur.

Haritada kırmızı çizgi ile gösterilen güzergâh yaklaşık 1.5 km. kuzeyinden Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren yolu geçmektedir. Şu anda hızlı tren yolu yapım çalışmaları devam etmektedir. Yine sahanın 22 km doğusunda ise DSİ’nin yapmakta olduğu Gökpınar Barajı inşaatının çalışmaları sürmektedir [12].



Şekil 15. Riskli alanın Ankara-İzmir Yüksek Hızlı tren yoluna olan uzaklığı yaklaşık 1.5 km (1/100.000 ölçekli jeoloji haritası) [13]

2.3. Heyelan

Heyelanlar toprak kayması ya da kaya düşmeleri şeklinde karşımıza çıkar. Özellikle ikinci afet olarak en çok görülen jeolojik tehlikedir. Şekil 16’da özellikle yüzey kırıklarına yakın yerler boyunca ve morfolojik olarak yüksek kesimlerde yaygın kaya düşmeleri olmaktadır. Her iki depremde de yüksek ivme değerlerinin gerçekleşmesi nedeniyle bazı yerlerde 4-5 m’den 8-10 m’ye kadar boyutlardaki çok iri bloklar da düşmüştür. Şekil 17 ‘de ayrıca çok iri blokların bile yuvarlanma mesafeleri oldukça uzun olup, bunlar yollara, istinat yapılarına, karayolu çitleri ve bariyerleri ile elektrik direklerine hasar vermiştir. Kaya düşmeleri artçı depremlerle de devam etmiştir.



Şekil 16. Fevzipaşa tren istasyonunda kaya düşmeleri [11]



Şekil 17. Değirmencik, Tevekkeli ve Sakçağöz mevkieindeki kaya düşmeleri [11]

2.4. Taşkın ve çamur akmalari

Taşkın ve Çamur akmalari sadece deprem sonrası yaşanan bir afet çeşidi değildir. Günümüzde iklim değişikliği ve kuraklık nedeniyle ani aşırı yağışlardan dolayı taşkınlar sıkça karşımıza çıkmaktadır. Yakın geçmişe baktığımızda 2018 Temmuz ayında Tekirdağ-Çorlu-Sarılar bölgesinde yaşanan Şekil 18’de gösterilen tren kazasının ana etmenini taşkın akmalari olduğu karşımıza çıkmaktadır. Bölgenin jeolojisini incelediğimizde ince taneli malzeme diye adlandırılan kum-silt-kil ardalımalı alüvyon bulunmaktadır [14].



Şekil 18. Kaza bölgesi menfezin ve yakındaki akarsuların Google Earth görüntüsü [14]

Kaza yeri, İncirli Deresi'nin tren yolunu kestiği yerdedir. İncirli Deresi, tren yolu altından bir menfezle geçerek, 90 m kuzeydeki Çorlu Çayı'na karışmaktadır. Şekil 19'da görüldüğü gibi Menfezin tabanında çamur akış izi ve yoğun bir çamur yığıntıları gözlenmiştir [14].



Şekil 19. Havza içerisinde gelişmiş sel yarıntısı (a), derenin getirdiği çamur malzemenin tren yolu menbası görünümü (b), tren yolu altındaki menfezin menba ve mansaptan görünümü (c menba, d mansap), askıda kalan raylar (d) ve onarılmaya başlanan rayların (e) görünümü [14]

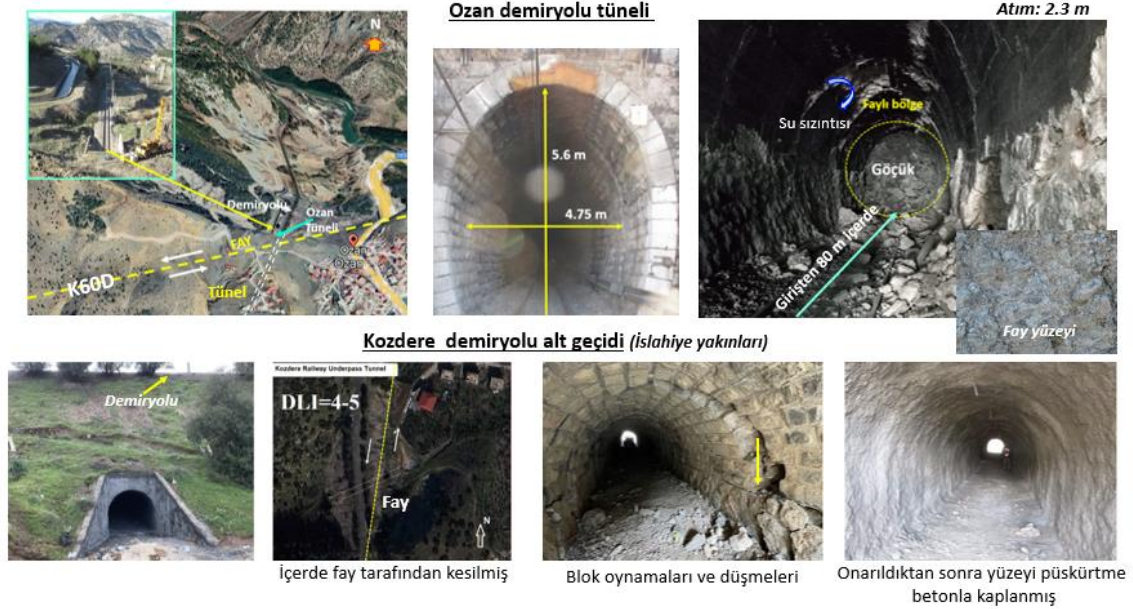
azanın oluştuğu menfezin Şekil 20 görüldüğü gibi çamur ve taşkın akmaları nedeniyle menfez açıklığının yarıya indiği gözlenmiştir [14].



Şekil 20. Rayların altındaki dolgunun boşalması sonrası ortaya çıkan görüntü [14]

2.5. Afetlerin yeraltı yapılarına etkisi

Deprem, Heyelan, Çökme ve ani oturmalar ile taşkın-çamur akmaları gibi afetlerin yeraltı yapılarına etkileri oldukça önemlidir. Yaşanan K. Maraş depremleri özelinde demiryolu açısından incelediğimizde Şekil 21’de görülen yer hareketleri ve kalıcı yer değiştirmeler Gaziantep-İslahiye yanındaki Kozdere Demiryolu alt geçidinde ve Ozan Demiryolu tüneline karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 21. Ozan Tüneli ve Kozdere alt geçidi hasar gözlemleri [11]

3. Afet Risk Yönetimi

Demiryolu sistemleri, toplu taşımanın önemli bir bileşeni olarak stratejik bir öneme sahiptir. Bu sistemlerin afetlere karşı dayanıklı hale getirilmesi, kamu güvenliği ve ekonomik istikrar açısından kritik bir gerekliliktir. Afet risk yönetimi, demiryolu altyapısı ve işletmelerinin olası afetlere karşı korunmasını ve bu afetlerin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesini amaçlar. Afet türleri doğal etkenlerle ve insan kaynaklı etkenlerle ortaya çıkmaktadır. Afetlerin en büyük özelliği toplumların iş görme kabiliyetini etkilemesi ve toplumların kendi başlarına üstesinden gelememeleridir [15].

Demiryollarında jeolojik tehlikelerin belirlenmesi ve afet risk yönetimine katkısı hem demiryolu güvenliği hem de kamu güvenliği açısından büyük önem taşır. Jeolojik tehlikeler, demiryolu hatlarının geçtiği bölgedeki doğa olaylarına bağlı olarak ortaya çıkar. Bu tehlikelerin belirlenmesi ve yönetilmesi, demiryolu altyapısının mukavemetini artırır ve olası kazaları ve kesintileri minimize eder.

İncelenen jeolojik tehlikeleri afet risk yönetimi çatısı altında şu şekilde toplayabiliriz:

1. Depremler
Tanım: Yer kabuğunda ani enerji boşalımı sonucu meydana gelen sismik aktiviteler.
Belirlenmesi: Sismik risk analizleri, tarihsel deprem kayıtları ve aktif fay hatlarını haritalanması.
2. Heyelanlar
Tanım: Zemin ve Kaya kütlelerinin yer çekimi etkisiyle yamaç boyunca kayması.

- Belirlenmesi: Şev stabilite analizleri, topoğrafik ve jeolojik haritaların arazide gözlemleri
3. Taşkın ve Çamur Akmaları
Tanım: Küresel ısınmaya bağlı olarak ani ve yoğun yağışlar veya nehir taşkınları sonucu demiryolu güzergahında meydana gelen deformasyonlar.
Belirlenmesi: Hidrolojik modeller, yağış verileri ve geçmiş taşkınların analizi.
4. Zemin Sıvılaşması
Tanım: Suya doymuş ve ince taneli zeminlerin sarsıntı etkisiyle taşıma gücünü kaybetmesi.
Belirlenmesi: Sondajla Zemin Etütleri, Laboratuvar testleri ve jeofizik verilerin değerlendirilmesi.

Demiryollarında afet risk yönetimi, altyapının korunması, yolcu güvenliğinin sağlanması ve hizmet sürekliliğinin devam ettirilmesi açısından hayati bir öneme sahiptir. Bu yönetim süreci, ulusal ve uluslararası standartlar ve en iyi uygulamalar doğrultusunda sürekli olarak güncellenmeli ve değişen koşullara uyum sağlamalıdır. Afet risk yönetimi, sadece altyapının korunması için değil, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik sürdürülebilirlik için de vazgeçilmez bir unsurdur.

4. Afet risk yönetimine katkısı

Demiryolu altyapıları, ülkelerin ekonomik kalkınmasında ve ulaşım ağlarının etkinliğinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, afet risk yönetimi, demiryolu sistemlerinin güvenliği ve sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Afet risk yönetimi, tehlike tespiti, risk değerlendirmesi, önleyici tedbirler, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarını kapsamaktadır.

1. Risk Değerlendirmesi ve Analizi:

Risk değerlendirmesi, demiryolu altyapısının ve operasyonlarının karşı karşıya olduğu tehlikelerin belirlenmesi ve analiz edilmesi sürecidir. Bu süreçte, doğal afetler (deprem, sel, toprak kayması, fırtına vb.) ve insan kaynaklı tehlikeler (kaza, yangın, terör saldırısı) sistematik olarak incelenir. Risk analizi, bu tehlikelerin demiryolu sistemine etkilerini değerlendirir ve risklerin önceliklendirilmesine yardımcı olur. Bu aşamada kullanılacak bazı yöntemler arasında Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA) ve SWOT analizi bulunmaktadır.

2. Önleyici Tedbirler:

Önleyici tedbirler, olası afetlerin etkilerini minimize etmek amacıyla alınan yapısal ve yapısal olmayan önlemleri içerir. Yapısal önlemler, demiryolu altyapısının fiziksel olarak güçlendirilmesini kapsar. Bu, rayların, köprülerin, tünellerin ve istasyonların dayanıklılığının artırılması ile sağlanabilir. Yapısal olmayan önlemler ise, erken uyarı sistemlerinin kurulması, düzenli bakım ve denetim faaliyetlerinin yürütülmesi gibi teknik ve organizasyonel önlemleri içerir. Erken uyarı sistemleri, özellikle deprem ve sel gibi aniden gelişen afetler için kritik öneme sahiptir.

3. Hazırlık ve Eğitim:

Afetlere hazırlık ve eğitim, demiryolu personelinin ve ilgili paydaşların olası afet durumlarına karşı hazırlıklı olmalarını sağlamayı hedefler. Bu kapsamda, detaylı acil durum planları hazırlanmalı ve düzenli olarak güncellenmelidir. Personelin afet durumlarında görev ve sorumluluklarını bilmesi, etkin bir müdahale için esastır. Eğitim programları ve tatbikatlar, personelin afet anında doğru ve hızlı bir şekilde hareket etmesini sağlar. Eğitimlerde senaryo bazlı tatbikatlar, masa başı tatbikatları ve saha tatbikatları gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir.

4. Müdahale ve Kurtarma:

Müdahale ve kurtarma aşaması, afetin hemen ardından gerçekleştirilen acil durum faaliyetlerini kapsar. Eğitimli acil müdahale ekipleri oluşturulmalı ve stratejik noktalarda hazır

bulundurulmalıdır. Afet sonrası hızlı kurtarma ve tahliye operasyonları, yolcu ve personel güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu aşamada, kriz yönetimi ve koordinasyon, hızlı ve etkin müdahalenin sağlanması için gereklidir.

5. İyileştirme ve Yeniden İnşa:

Afet sonrası iyileştirme ve yeniden inşa, hasar tespiti, onarım çalışmaları ve gelecekteki afetlere karşı daha dayanıklı bir altyapının oluşturulmasını içerir. Hasar tespiti sürecinde, afetin demiryolu altyapısına ve operasyonlarına verdiği zarar detaylı bir şekilde değerlendirilir. Onarım ve yeniden inşa çalışmaları, mümkün olan en kısa sürede başlatılmalı ve tamamlanmalıdır. Bu süreçte edinilen deneyimler, gelecekteki risk yönetimi stratejilerine entegre edilmelidir. Yapıların yeniden inşasında modern mühendislik teknikleri ve malzemeler kullanılarak daha dayanıklı yapılar oluşturulabilir.

Örnek Uygulamalar:

Japonya: Japonya, demiryolu sistemlerinde deprem erken uyarı sistemleri ve dayanıklı altyapı yatırımları ile öne çıkmaktadır. Özellikle Shinkansen yüksek hızlı tren sistemi, depreme dayanıklı tasarımı ile dikkat çekmektedir.

Avrupa: Avrupa ülkelerinde, sel ve fırtına gibi doğal afetlere karşı gelişmiş tahliye ve acil durum planları uygulanmakta, altyapı düzenli olarak denetlenmekte ve güçlendirilmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Demiryollarında jeolojik tehlikelerin belirlenmesinde en büyük faktör depremdir. Yaşadığımız 6 Şubat 2023 K. Maraş depremlerinde $M > 7.6$ olan iki büyük depremin çok kısa aralıkla meydana gelmesi can kaybının ve hasarın artmasında önemli etkenlerden biri olmuştur. Bu depremlerde bugüne değin diğer depremlerde kaydedilenden oldukça yüksek yer ivmeleri gerçekleşmiş olup, bu yüksek değerler hasarlarda rol oynamıştır ve özellikle faya yakın kesimler için deprem yönetmeliğindeki mevcut tasarım spektrumunun gözden geçirilmesinde yarar vardır.

Özellikle her iki depremin neden olduğu yaklaşık 400 km uzunluğundaki yüzey kırığı boyunca çok sayıda kaya düşmeleri ve çok büyük boyutta heyelanlar meydana gelmiş olup çok fazla can kaybına neden olmuştur. Bu nedenle özellikle demir yolu güzergahları ve diğer mühendislik yapıları açısından bu tür duraysızlıklara karşı yapılacak değerlendirmelerde depremlerle ilgili dinamik etkiler de dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte demiryolu güzergahlarında sınırlanmayla ilgili etütlere, analizlere ve uygun yapı ve temel tipi seçimine çok daha fazla önem verilmesinin gerektiği bu depremlerde de bir kez daha görülmüştür.

Deprem bölgesindeki bazı demir yolu tünel ve alt geçitleri özellikle sarsıntı ve yüzey kırığı tarafından kesilmeleri gibi nedenlerle kısa kesimlerde göçme veya blok düşmesi ve tavan veya yan duvarlardan dökülme gibi duraysızlıklara maruz kalmışlardır. Tüneller, kara ve demiryolları, gömülü boru hatları çizgisel yapılar olup, bunların doğrultuları ve uzunlukları da dikkate alındığında faylar tarafından kesilmeleri mümkündür. Bu nedenle özellikle faylı kesim geçilene değin tünelin kesit alanının artırılması veya fay boyunca belirli uzunlukta bağımsız mafsallı segmentler yapılarak, fayın hareketi halinde hareketin bu segmentleri birbirine bağlayan eklemlerde yoğunlaştırılması sağlanabilir.

Demiryollarında raylı sistem altyapı dolguları imal edilirken, dolgunun kayma dayanımının yüksek olması sağlanmalıdır. Bunun için, dolgunun oturtulacağı doğal zemin, taşıma gücü ve izin verilebilir oturmalar açısından araştırılmalı ve yerinde test edildikten sonra nitelikli dolgu kullanılmalıdır. Sahada gerekli sıkıştırma yapılmalı, yerinde sıkışma kontrolleri yapılarak, yanal ve düşey ek gerilmeler oluşması durumunda duyarlılığını yitirmemelidir. Bu uygulama eksiksiz tamamlandıktan sonra üst yapıya geçilmelidir. Demiryolu güzergahlarında suların drene

edilmesini sağlayan menfez yapılarının, günümüz koşullarına uygun, üst yapı yüklerini taşıyabilecek şekilde betonarme olarak inşa edilmesi gereklidir. Tüm mühendislik yapılarında olduğu gibi demiryolu benzeri çizgisel mühendislik yapıları için de mutlaka izleme ve kontrol sistemi kurulmalıdır. Bu sistemler sayesinde Afet Risk yönetimi sağlıklı biçimde yürütülebilir.

Demiryollarında afet risk analizi ve yönetimi, sadece altyapının korunması için değil, aynı zamanda yolcu güvenliğinin sağlanması ve hizmet sürekliliğinin devam ettirilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Bu analiz ve yönetim süreçlerinin, ulusal ve uluslararası standartlar ve en iyi uygulamalar doğrultusunda sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir.

Kaynakça

- [1] N. Kazancı, “Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni” 25: 63-66,2018
- [2] A.M.C. Şengör, “Jeolojik Takvim.” Cogita 22 (1), 1-46, 2000
- [3] A.M.C.Şengör ve Y.Yılmaz, “Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, Tectonophysics “75(3-4):181-190,1981
- [4] AFAD, “https://www.afad.gov.tr/kahramanmarasta-meydana-gelen-depremler-hk-34”,2023
- [5] S.N. Yalçın ve A. Erel, “Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi ve Tasarım İlkeleri”, 7. Ulaştırma Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, Türkiye, 2007
- [6] C. Kolukırk, “Taşıtların Yatay Hareketlerinden Kaynaklı Düşey Yüklerin Matematiksel Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi*, 2017
- [7] C. Esveld, “Modern Railway Track”, Second Edition, MRT Productions, 2001
- [8] TCDD, Etüt Proje ve Yatırım Dairesi Başkanlığı, “*Demiryolu Güzergâh Jeolojik – Jeoteknik – Geoteknik Etütlerinin Yapılmasına Ait Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi*”,2015
- [9] Yin, L.; Zhu, J.; Li,W.;Wang, J. Vulnerability Analysis of Geographical Railway Network under Geological Hazard in China. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 11, 342, 2022
- [10] F. Çeçen, “6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin demiryolu üstyapısına etkilerinin saha gözlemleri ve sonlu eleman analizleriyle incelenmesi,” Demiryolu Mühendisliği, no. 18, pp. 59-72, July 2023. doi: 10.47072/demiryolu.1294730
- [11] R. Ulusay, “ 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Saha Gözlemleri”, Çağrılı Konuşmacı, Kil 2023 Ulusal Sempozyum, Eskişehir
- [12] C.Ayday ve H.Alan, “*Eskişehir- Sivrihisar Yht Güzergahında Obruk Oluşumu ve Riskleri Hakkında Rapor*”, Eskişehir Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2020
- [13] F. Arık, 2018, “*Obruklar, Orta Anadolu’da Obruk Oluşumları ve Çözüm Önerileri*”. Maden ve İnsan, 1(3), 45-54.9,2018
- [14] JMO, “*Tekirdağ Çorlu Tren Kazası Yeri İnceleme Raporu*” Ankara: Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, ISBN: 978-605-01-1219-1, 2018
- [15] UNISDR, “The United Nations Office for Disaster Risk Reduction” *terminolgy disaster risk*, 2009

Özgeçmiş



Emre Aytuğ ÖZSOY

Eskişehir Teknik Üniversitesi Porsuk Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Yapı Denetim Programında Doktor Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır. Lisans ve Yüksek Lisans eğitimini Ankara Üniversitesi’nde, Doktorasını Eskişehir Osmangazi Üniversitesi’nde Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji bilim dalında tamamlamıştır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.
E-Posta: eaosoy@eskisehir.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.