



Araştırma Makalesi / Research Article

Erzurum İli Hafif Raylı Sistem Güzergâhının Zemin Emniyeti Açısından Yeterliliğinin Araştırılması

Investigation of Adequacy of Light Rail Systems Route in Erzurum Province in Terms of Ground Safety

Ömer Lütfü AYDIN¹ , Emre KUŞKAPAN^{2*} , Muhammed Yasin ÇODUR² 

¹ Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Muratpaşa Mah. Merkezi Yönetim Cad. Yakutiye, Erzurum

² Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum

Geliş (Received): 05 Temmuz (July) 2020 / Düzeltme (Revised): 26 Ağustos (August) 2020 / Kabul (Accepted): 21 Ekim (October) 2020

ÖZ

Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke toplu ulaşımda karayolu sistemlerine ek olarak raylı sistemler kullanmaktadır. Bu raylı sistemlerin en sık kullanılan türlerinden birisi ise hafif raylı sistemlerdir (HRS). HRS güzergâhları genellikle mevcut karayolu güzergâhı üzerine işlenmektedir. Bu durum zemin açısından bazı problemleri meydana getirmektedir. Raylı sistem taşıt ağırlıkları ve yolcu kapasiteleri karayolu taşıtlarına göre çok daha fazla olduğu için zemine uyguladıkları basınçlar da daha fazladır. Bununla birlikte karayolu yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar taşıt ve yolcuları daha çok konfor yönünden etkilemekteyken raylı sistemler üzerindeki küçük deformasyonlar kaza ve ölümler gibi büyük problemleri beraberinde getirebilmektedir. Bu amaçla raylı sistem güzergâhının zemin yapısının incelenmesi ve uygunluk durumunun analiz edilmesi bu problemlerin önüne geçilmesi adına çok önemlidir. Yapılan bu çalışmada Erzurum il merkezinde yapılması planlanan HRS güzergâhının fiziksel zemin parametreleri açısından uygunluğu analiz edilmiştir. Analizde rotary temel sondaj, çok kanallı yüzey dalgası (MASW) ve mikrotremor yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlarda bazı noktaların problemlili olduğu tespit edilerek bu noktalar için zemin iyileştirmesi yapılması veya güzergâhın revize edilmesi önerilmiştir. Zemin yapısının uygun olmadığı noktalarda yolcu talebi de göz önünde bulundurularak alternatif güzergâh oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hafif Raylı Sistemler, Fiziksel Zemin Parametreleri, Güzergâh Uygunluk Analizi

ABSTRACT

Many developed and developing countries use rail systems in addition to road systems in public transportation. One of the most frequently used types of these rail systems is the light rail systems (LRS). The routes of the LRS are generally preferred on the existing road route. This situation creates some problems in terms of ground conditions. Since the rail system vehicle weights and passenger capacities are much more than road vehicles, the loads they apply to the ground are also higher. However, deformations occurring on the road surface generally affect vehicles and passengers in terms of comfort, while small deformations on rail systems can bring major problems such as accidents and deaths. For this purpose, it is very important to investigate the ground structure of the rail system route and to analyze the suitability situation in order to prevent these problems. In this study, the suitability of the LRS route planned to be built in the city center of Erzurum in terms of physical properties of soil was analyzed. In the analysis, it was suggested that some locations were problematic in the results obtained by using the basic rotary

drilling, multichannel analysis of surface waves (MASW), and microtremor methods and ground improvement or revision of the route was suggested for these points. Where the ground condition is not suitable, an alternative route has been created by taking passenger's demand into consideration.

Keywords: *Light Rail Systems, Physical Properties of Soil, Route Suitability Analysis*

GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfusla birlikte kentleşme de giderek artmaktadır. Kent nüfusunun artması da beraberinde çeşitli ulaşım problemlerini meydana getirmektedir. Bu problemlerin önlenmesi amacıyla kent içi ulaşımında toplu taşıma sistemleri kullanılmaktadır. Fakat karayolu kapasitesinin yetersiz kalması ve trafik sıkışıklığının artması sebebiyle alternatif ulaşım sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla dünyanın birçok büyük kentinde HRS kullanılmaktadır.

Karayolu toplu taşıma işletmeciliği yüksek enerji sarfiyatına ve büyük miktarda zararlı gaz salınımına sebep olmaktadır. Ayrıca karayolu toplu taşıma araçlarının yolcu kapasitesi HRS'ye oranla oldukça düşüktür. HRS'nin kurulum maliyetinin ise toplu taşıma sistemlerine göre daha yüksek olması dezavantaj oluşturmaktadır (Şenlik, 2013). Fakat enerji sarfiyatının düşük olması, çevreye zararının minimum düzeyde olması, yolcu kapasitesinin yüksek olması ve teknolojik yapısı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tercih edilme durumunu artırmıştır (Candemir ve Tanyel, 2005; Baştürk, 2014; Kolos ve Taczanowski, 2016). Bu durumla birlikte HRS'nin uygulanmasından önce geniş fizibilite çalışmalarının yapılması gereklidir. Raylı sistemin geçeceği güzergâhın belirlenmesi, başlangıç bitiş noktalarının tespiti, karayolu ile kesişim noktalarının düzenlenmesi ve aktarma merkezlerinin belirlenmesi gibi birtakım ön aşamalar gerçekleştirilmektedir (Ocak ve Manisalı, 2006). Belirlenen aşamaların aksatılması veya eksik yapılması durumunda

HRS için belirlenen talebin çok daha altına düşülebilmektedir (Kaya, 2005; Murteza, 2010; Erdoğan, 2011; Harami ve Furlan, 2020).

Yapılmakta olan fizibilite çalışmalarından bir diğeri ise HRS'nin geçeceği güzergâhtaki zemin durumunun incelenmesidir. Fakat bu aşamanın göz ardı edilmesi veya yeteri kadar önem verilmemesi büyük problemleri beraberinde getirmektedir (Argyroudis ve Kaynia, 2013). Bu aşamanın göz ardı edilmesindeki en önemli hususlardan birisi HRS'nin mevcut karayolu güzergâhı üzerine işlenmesidir. Mevcut karayolu taşıtlarının geçtiği zeminde oluşan küçük deformasyonların HRS güzergâhında oluşması ise çok büyük problemlere sebep olabilmektedir (Tarhan ve Akpınar, 2005; Cui vd., 2019). Ayrıca HRS taşıtlarının yüksek tonajlı ve yolcu kapasitesinin çok olması zemine uyguladığı basıncı artırmaktadır. Bu basınç da zemindeki deformasyonları artırabilmektedir. Karayollarında araç trafiğinin getirdiği basınç ve doğal afetlerden (yağışlar, heyelanlar, depremler vs.) dolayı çeşitli deformasyonlar meydana gelmekte fakat bu durum trafik akışını çoğunlukla konfor yönünden etkilememektedir. Karayollarında bulunan HRS hatları ise bu deformasyonlardan çok tehlikeli boyutlarda etkilenebilmektedir. HRS raylar üzerinde ilerlediği için bu raylarda meydana gelecek çökme, dönme ve ayrılma gibi durumlar taşıtlarda devrilme, raydan çıkma ve çarpışma gibi çok büyük kazalara neden olabilmektedir (Gündüz vd., 2011). Bahsedilen kaza ve problemlerin önüne geçilebilmesi için zemin yapısının detaylı incelenmesinin yanı sıra meydana gelebilecek senaryolara da hazırlıklı

olmak gereklidir (Önder ve Akdemir, 2019). Zeminlerde oluşabilecek deformasyonları incelemek için raylı sistemlerin geçtiği güzergâh için çeşitli altyapı analiz yöntemleri yürütülmektedir. Analiz yapılabilmesi için ise zemin yapısı, sınıfı ve özellikleri hakkında bilgiler içeren zemin etütlerinden yararlanılmaktadır. Bu etütler ve testler sayesinde zemin performans parametreleri belirlenebilmektedir. Belirlenen parametrelere çeşitli analiz yöntemleri uygulanarak zemin yapısının hangi şartlarda uygun olup hangi şartlarda uygun olmadığı hakkında yorumlar yapılabilmektedir (Stenström, 2014; Bergquist ve Söderholm, 2014).

Yapılan bu çalışmada Erzurum ili için belirlenen HRS güzergâhının fiziksel zemin parametreleri açısından uygunluğu analiz edilmiştir. Erzurum ilinde mikrobölgeleme yöntemi ile oluşturulan zemin etüt çalışmalarının fiziksel parametrelere göre sınıflandırılması yapılmıştır. HRS güzergâhı rotary temel sondaj, MASW, mikrotremor yöntemleriyle incelenerek zemin yapısı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda HRS güzergâhının bazı noktalarının problemlili olduğu tespit edilerek bu noktalar için zemin iyileştirmesi yapılması veya güzergâhın revize edilmesi önerilmiştir. Zemin yapısının uygun olmadığı noktalarda yolcu talebi de göz önünde bulundurularak değişikliğe gidilmiş ve alternatif güzergâh oluşturulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

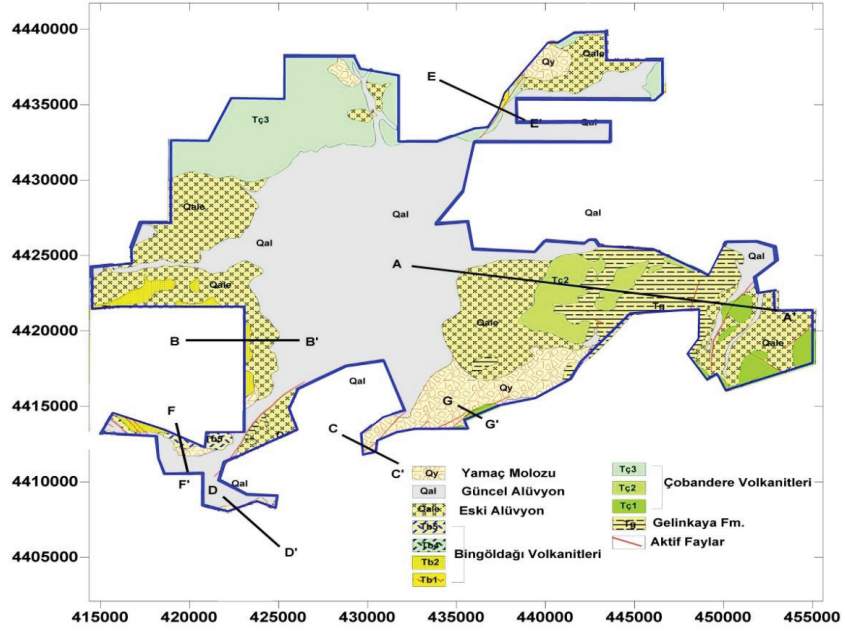
Çalışma alanı olarak belirlenen Erzurum ili için ilk jeoloji çalışmaları, Mercier (1948), Erentöz (1949) ve Altınlı (1963) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu, yörenin önemli

kaya türleri ve stratigrafisi genel çizgileriyle belirlenmiştir. Erdoğan ve Soy Türk (1974)'e ait çalışma, yukarıda belirtilen 1/25.000 ölçekli çalışmaların bir bileşimi durumundadır. Mevcut bulgular ile arazi gözden geçirilerek bu bölge ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Yılmaz vd., 1988; Yıldırım ve Parlak 2008; Şafak ve Kaya 2016; Yılmaz ve Yılmaz, 2016).

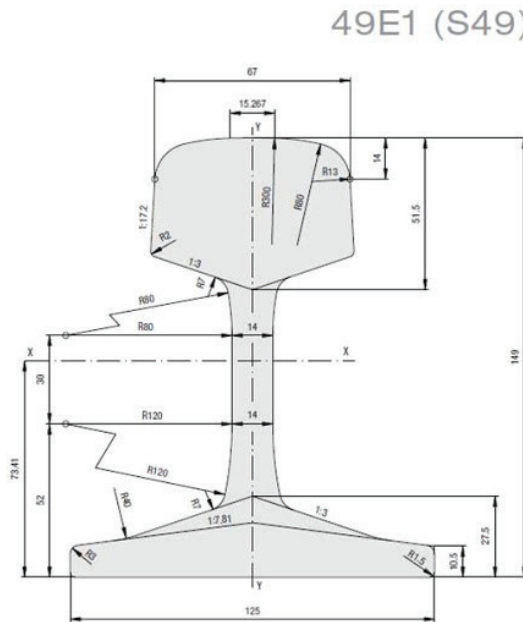
İnceleme alanı, Erzurum ili merkezini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada alanda 2014 yılında hazırlanan Erzurum ili nazım imar planı jeolojik-jeoteknik etüt verileri yardımıyla HRS güzergâhı analiz edilerek uygulama projeleri yapılırken jeoteknik proje hazırlanması gereken alanların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Hafif Raylı Sistem Özellikleri

Türkiye'de raylı sistem 1856 yılından beri kullanılmakta olup, yerli üretim HRS 2012 yılı itibarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde yerli olarak üretilen ve kullanılmakta olan 3 farklı firmaya ait tramvay türü vardır (Bozankaya, 2020; Durmazlar, 2020; Burulaş, 2020). Bu tramvaylar yolcu kapasite türlerine göre birtakım farklılıklar içermektedir. Bu özellikler genel olarak uzunluk, genişlik, ağırlık, azami hız, azami ivmelenme ve azami aks yükü türünde belirlenmiştir. Yolcu taşıma kapasitesi bakımından kalabalık yolcu kitlesi taşıyan ve hızlı hareket eden bu HRS ve metro hatlarında S49 rayı diye tanımlanan mantar tipi raylar kullanılmaktadır (Tarhan, 2009). Bu ray yapısının ölçüleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu ray tipi dikkate alınarak, yerli hafif raylı sistemler olarak Durmazlar/İpekböceği, Durmaray ve Bozankaya firmalarının ürettiği araçların özellikleri ve taşıtlarının zemine uyguladıkları ortalama basınçlar Çizelge 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. İnceleme alanını kapsayan Erzurum ve çevresinin jeoloji haritası (Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2014).
 Figure 1. Geological map of Erzurum and its surrounding including the study area (Erzurum Metropolitan Municipality, 2014).



Şekil 2. S49 tipi çelik ray profil ölçüleri (Railwayrail, 2015).
 Figure 2. Profile dimension of S49 steel rail (Railwayrail, 2015).

Çizelge 1. Türkiye’de üretilen ve kullanılmakta olan bazı tramvay çeşitleri ve özellikleri.

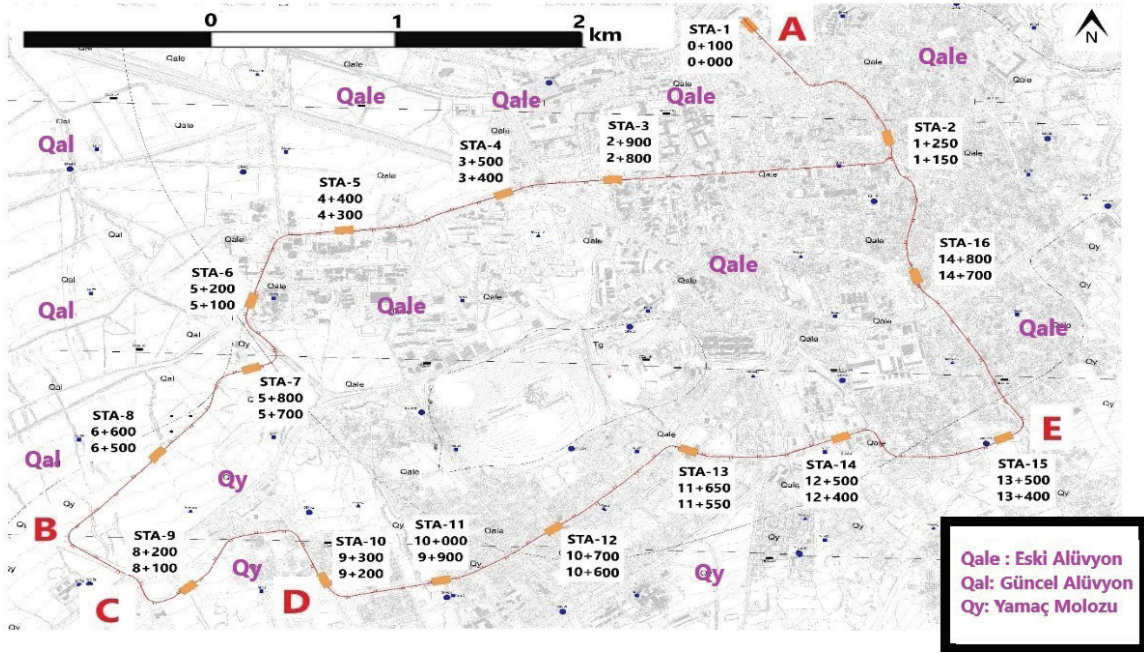
Table 1. Tram types and properties that are used and produced in Turkey.

Teknik Özellikler	Bozankaya Tramvay	Durmaray	Durmazlar/ İpekböceği
Uzunluk	32.7 m	29 m	27.8 m
Genişlik	2.65 m	2.45 m	2.4 m
Ağırlık	41.9 ton	38.5 ton	34 ton
Toplam Yolcu Kapasitesi	295 kişi	274 kişi	250 kişi
Azami Hız	70 km/sa	70 km/sa	50 km/sa
Azami İvmelenme	1.3 m/s ²	1.3 m/s ²	Bilinmiyor
Ortalama Basınç (Dolu iken)	0.71 kg/cm ²	0.77 kg/cm ²	0.69 kg/cm ²
Ortalama Basınç (Boşken)	0.51 kg/cm ²	0.53 kg/cm ²	0.48 kg/cm ²

Trenlerin zemin taşıma gücüyle bağlantılı en önemli kriterleri tren ağırlığı ve yolcu kapasitesidir. Her iki kriterin artması zemine uygulanan basıncı artırmaktadır. Ayrıca HRS sistem için belirlenen taşıtın ortalama ağırlığı ve yolcu kapasitesi bir karayolu taşıtıdan oldukça yüksek değere sahiptir. Bu durumla birlikte raylı sistem taşıtlarının raylara temas yüzeyi olan tekerlerin boyutları karayolu taşıtlarına göre daha küçüktür. Tren tekerleri ise basıncı raylar aracılığı ile zemine iletmektedir. Bu sebeple karayolu taşıtlarına göre farklılık göstermektedir. Karayolu yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar genel olarak karayolu taşıtlarının konfor açısından etkilenmesine sebep olmaktadır. Öte yandan raylı sistem üzerinde meydana gelen deformasyonlar ise raylar arasındaki bağlantının bozulmasına sebep olduğu için ciddi kazalara sebebiyet vermektedir. Bu amaçla akıllı ulaşım sistemleri ve teknolojinin gelişmesi ile raylar üzerindeki deformasyonları incelemek amacıyla raylı sistem taşıtları da geliştirilmiştir. Fakat bu taşıtlar raylar üzerinde sürekli gidip gelmediği için anlık değişimleri fark edememektedir. Bu kapsamda raylı sistemler

üzerindeki deformasyonu minimize etmek ve bundan kaynaklı kazaları önleyebilmek amacıyla HRS sistem uygulanmadan önce uygulama güzergâhının zemin yapısının uygunluk analizi yapılmalıdır. Bu analiz sayesinde zemin yapısında problem oluşturacak bölgeler tespit edilerek güzergâhın değiştirilmesi bahsedilen problemlerin önüne geçilmesi adına çok önemlidir.

Erzurum ilinde yapılması planlanan hafif raylı sistemin güzergâhı Şekil 3’te gösterilmektedir. Buna göre yapılması planlanan raylı sistem hattı yaklaşık 15 kilometre uzunluğunda olup, toplam 16 duraktan oluşmaktadır. Duraklar arası mesafe çeşitlilik göstermekle birlikte ortalama 1 kilometredir. Ayrıca her bir durak için 100 metrelik bir mesafe ayrılmıştır. Tek yönlü olarak tasarlanmış olan bu hat, İstasyon Meydanı’ndan harekete başlayıp Erzurum Kalesi, Şehir Merkezi, Atatürk Üniversitesi, Yıldızkent, Yenişehir, Yunusemre Mahallesi bölgelerinden geçerek yine İstasyon Meydanı’nda hareketini sonlandırmaktadır (Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2018).



Şekil 3. Erzurum ili jeoloji haritası üzerine işlenmiş HRS güzergâhı.

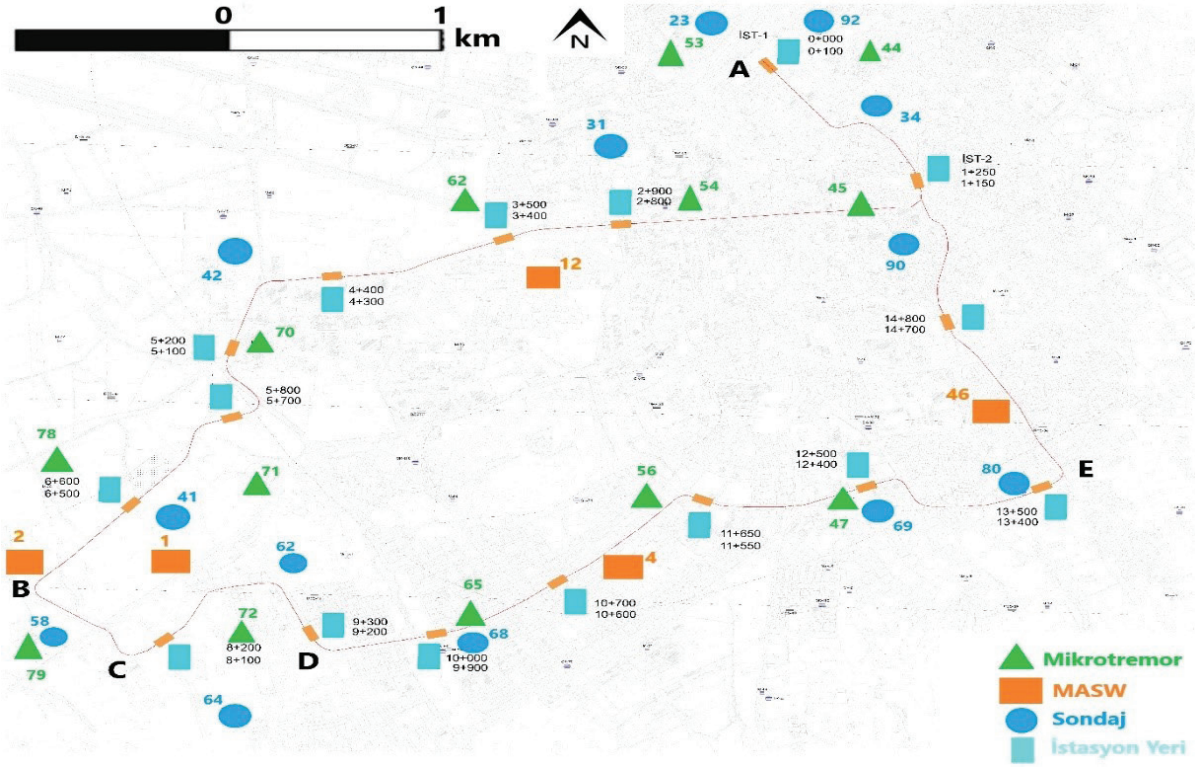
Figure 3. The LRS route on the geological map of Erzurum province.

Şekil 1 ve 3'te verilen jeolojik bilgiler dahilinde; HRS hattının geçtiği bölgelerin zemin özellikleri farklılık gösterdiği görülmektedir. Fakat çalışma alanının önemli bir kısmında alüvyon ve bazı kısımlarda ise yamaç molozu yapısı yer almaktadır. Aynı zamanda Erzurum ilinin Palandöken Dağı eteğine kurulu olması itibariyle topoğrafik eğim değişkenlik göstermektedir. Bu durumlara ilaveten iklim yapısı itibariyle kış aylarında meydana gelen karların ilkbahar aylarında erimesi ve yaz aylarının yağışlı geçmesi sebebiyle yeraltı su seviyesi oldukça yüksektir. Bu kapsamda yapılan arazi çalışmaları ve bu çalışmalardan elde edilen zemin etüt sonuçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

ARAZİ ÇALIŞMALARI

İnceleme alanının jeolojik verileri doğrultusunda, birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimlerini, mühendislik özelliklerini ve fiziksel ve mekanik parametrelerini saptamak amacıyla, derinlikleri 10 m ile 20 m arasında değişen 181 adet olmak üzere toplam 2536 m uzunluğunda temel sondajı, dinamik elastisite parametrelerini saptamak, zemin büyütmesi ve zemin hakim periyodunu belirlemek amacıyla, 150 adet mikrotremor, 62 adet MASW, 12 adet sismik kırılma ve 75 adet düşey elektrik sondajı (DES) çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar ışığında HRS güzergâhına isabet eden 8 adet sondaj, 13 adet Mikrotremor, 5 adet MASW etüt sonuçları ile değerlendirme yapılmıştır. Yerinde yapılan deneysel çalışmaların lokasyonları Şekil 4'te gösterilmektedir.



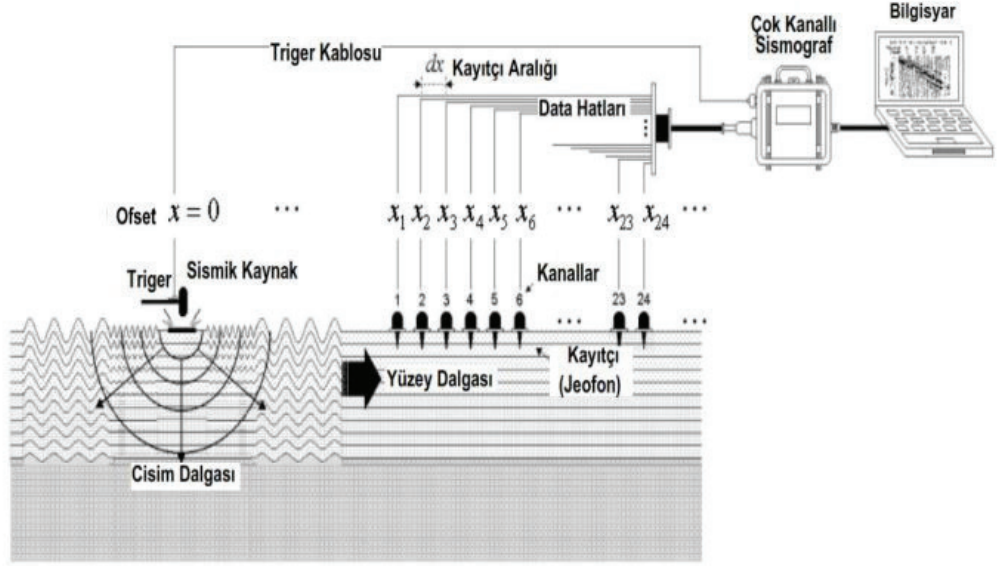
Şekil 4. HRS güzergâhına yakın bölgelerde bulunan Mikrotremor, MASW ve sondaj lokasyonları.

Figure 4. Locations of microtremor, borehole and MASW located in areas close to the LRS route.

Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW)

MASW yöntemleri ile yeraltındaki formasyonların derinlikleri, tabakaların kalınlıkları, eğimi, kırık, fay, süreksizlik zonları, tabaka hızları ve elde edilen bu bilgilerden yeraltı yapısının dinamik ve elastik parametrelerini bulmak mümkündür (Kır, 2007). Yapı ve zemin incelemelerinde S dalgası hızını elde edebilen çeşitli uygulamalarla da modelleyebilen bir yöntem olan MASW yöntemi diğer sismik prospeksiyon yöntemlerinden daha derinden veri alabiliyor olması sinyal/gürültü oranının yetersiz kaldığı şehir içi çalışmalarda ihtiyaç duyulan 30 metre ve üstü derinliklerden veri alınmasına olanak sağlamaktadır. Bu sebeple şehir içi

zeminin fiziksel parametrelerinin belirlenmesi gereken çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. MASW yöntemi ile elde edilebilen verilere ek olarak zemin hakim periyodu da yüksek doğrulukla hesaplanabilmekte ve mikrotremor ölçümleriyle hesaplanan zemin hakim titreşim periyodu ile karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca, doğal zemine gerek duyulmaksızın asfalt, beton, kaldırım, taş zemin vb. ortamlarda da jeofonların satılla iyi bir bağlantısı sağlanarak ölçüm alınabilmektedir. MASW yöntemi, maliyeti düşük olması ve çevreyle olan uyumu sayesinde tercih edilebilecek yöntemlerden birisidir. Aktif kaynak uygulamalarında doğrusal hat boyunca dizili jeofonlara belirli uzaklıktan balyozla vurulması sonucunda sismik dalgalar kaydedilir (Şekil 5).



Şekil 5. MASW yönteminde temel işlem adımları (Dikmen vd., 2009).

Figure 5. Basic steps in MASW method (Dikmen et al., 2009).

Yapay sismik kaynak ile yüzey dalgası kayıtları arazi etütleriyle toplandıktan sonra çeşitli veri işlem aşamalarına geçilir. İlk aşamada değişik frekanslara karşılık gelen faz hızları program vasıtası ile çizdirilir. İşlem sonucunda dispersiyon eğrisi elde edilir. Elde edilen dispersiyon eğrisinin yine program vasıtası ile frekans aralıkları belirlenir. Farklı modellerde ters çözüm uygulanarak derinliğe bağlı S dalgası hızları hesaplanır. Buna göre, çalışma güzergâhında bulunan MASW ölçümleri ve bu ölçümler neticesinde elde edilen V_{s1} , V_{s30} birinci tabaka kalınlığı ve tabaka sayısı değerleri Çizelge 2 ve Çizelge 3'te gösterilmektedir. HRS taşıtları metro gibi raylı sistem taşıtlarının aksine zemin yüzeyinde hareket ettikleri için temel etki alanları ve temel derinlikleri zemin yüzeyine yakın olmaktadır. Bu sebeple zemin özellikleri incelenirken MASW değerleri için zemine yakın tabaka kalınlıkları dikkate alınmaktadır.

Çizelge 2. V_{s1} hızı, birinci tabaka kalınlığı ($h1$) ve değerlendirme sonucu elde edilen tabaka sayısı.

Table 2. V_{s1} velocity, first layer thickness ($h1$), and the number of layers obtained by evaluation.

Ölçüm No	V_{s1} (m/s)		$h1$ (m)	Tabaka Sayısı
	1. Tabaka	2. Tabaka		
MASW-1	290	335	6.3	10
MASW-2	290	321	7.0	15
MASW-4	237	313	6.0	6
MASW-12	275	329	6.3	9
MASW-46	311	313	3.8	10

Çizelge 3. Çalışma alanında hesaplanan V_{s30} değerleri.

Table 3. Calculated V_{s30} values in the study area.

Ölçüm No	V_{s30} (m/s)
MASW-1	414
MASW-2	404
MASW-4	494
MASW-12	423
MASW-46	419

Temel Sondajları

Sondaj özel bir takım gereçlerle her türlü katı ortamda, her yönde, işletme veya özel amaçlı silindirik delikler açma işlemi ve silindirik şekilde derin kazı makinaları ile kazı işlemidir. Araştırma alanında sulu sistem rotary sondajlar yapılarak, her 1.5 metrede bir SPT deneyi gerçekleştirilmiş ve 3 metrede bir örselenmemiş örnek (UD) alınmıştır. Yapılan sondajların derinliklere göre geçtiği zemin türleri belirlenmiştir (Çizelge 4).

Sondajlarda her 1.5 metrede bir yapılan SPT ve 3 adet UD örnekleri zemin mekaniği laboratuvarında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çalışma alanı sınırlarına isabet eden sondajlardan iki tanesi (SK-68 ve SK-73) kaya birim içerisinde yeteri kadar ilerleyebilmiş ve boyu 50 cm'nin üzerinde olan numunelerde nokta yükleme deneyi yapılmıştır (Çizelge 6). Alanda bulunan diğer sondaj noktalarında kaya birimde ilerleme yapılamadığı için dayanım deneyi yapılabilecek numune alınamamıştır.

Çizelge 4. İnceleme alanında açılan sondajlarda geçilen zemin türlerinin derinliğe göre değişimi.

Table 4. Variation of the soil units in the boreholes of the study area according to depth.

Sondaj No	Derinlik (m)	Açıklamalar
SK-23	0.0 – 15.00	Kahve renkli çakıllı siltli kumlu kil
SK-31	0.0 – 30.50	Koyu kahve renkli çakıllı kum
SK-41	0.0 – 20.00	Koyu kahve kil
SK-42	0.0 – 30.00	Koyu kahve renkli irili ufaklı çakıllı siltli kumlu kil
SK-58	0.0 – 16.58	Kahve renkli çakıllı kum
SK-62	0.00 – 15.3	Az siltli, kahve renkli çakıllı kum
SK-64	0.0 – 15.22	Kahve renkli siltli çakıllı kum
SK-68	0.00 – 2.00	İnce kumlu çakıllı blok
	2.00 – 16.5	Kahve renkli bazalt
SK-69	0.00 – 16.5	Az siltli, çakıllı kum
SK-80	0.00 – 2.00	Kahve renkli kumlu çakıllı silt
	2.00 – 4.00	Az çakıllı, siltli kum
	4.00 – 15.0	Kahve renkli çakıllı killi kum
SK-90	0.00 – 3.50	Siltli kil
	3.50 – 15.0	Siyahımsı kahve killi kum
SK-92	0.00 – 6.00	Siltli kum
	6.0 – 13.51	Az siltli, kumlu çakıl

Aydın, Kuşkapın, Çodur

Çizelge 5. İnceleme alanında yer alan zeminlerin fiziksel parametreleri.

Table 5. Physical parameters of the soils in the study area.

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı
				No. 4 Kalan (%)	200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-23	SPT-3	3.00- 3.45	28.37	47.54	30.05	36.9	20	16.9	GC
	SPT-6	6.00- 6.45	6.56	50.4	26.88	34.2	21.5	12.7	
SK-31	SPT-1	1.50- 1.95	16.26	17.99	50.52	41.10	21.1	20.0	CL
	SPT-9	24.0- 24.5	14.74	25.00	44.81	37.90	20.6	17.3	SC
SK-34	SPT-2	3.00- 3.45	38.83	29.83	29.28	37.6	20.3	17.3	SC
	SPT-4	6.00- 6.45	13.50	15.86	67.59	46.6	22.8	23.8	CL
SK-41	SPT-1	1.50- 1.75	6.99	32.52	43.47	38.6	20.2	18.4	GC
	SPT-3	9.00- 9.50	10.24	40.99	24.10				GM
SK-42	SPT-2	4.50- 4.75	7.10	46.45	41.26	37.6	23.1	17.5	GC
	SPT-5	12.0-12.45	7.06	45.59	21.18				GM
SK-58	SPT-6	9.00-9.45	20.8	6.10	11.8		NP		SM-SW
	SPT-8	12.0-12.45	12.2	31.3	5.3		NP		SW-SM
SK-62	SPT-1	1.50-1.95	11.5	41.1	18.2		NP		GM
	SPT-2	3.00-3.45	6.6	33.5	15.9	28.6	18.3	10.3	SC
	SPT-10	15-15.45	13.4	0.0	12.4		NP		SM
SK-64	SPT-4	6.00-6.45	7.9	4.0	56.4	30.5	15.4	15.1	CL
	SPT-10	15-15.45	13.5	34.9	15.0		NP		SM
SK-80	SPT-2	3.00-3.45	7.9	33.2	18.0		NP		SM
	SPT-4	6.00-6.45	4.1	21.4	20.6	29.5	18.4	11.1	SC
	SPT-6	9.00-9.45	5.4	26.6	23.3		NP		SM
SK-90	SPT-2	3.00-3.45	19.8	1.9	63.8	29.3	18.2	11.1	CL
	SPT-10	15-15.45	7.8	31.8	27.0	27.3	16.5	10.8	SC
SK-92	SPT-2	3.00-3.45	26.2	27.6	19.9		NP		SM

Çizelge 6. İnceleme alanındaki kaya birimlerin mekanik parametreleri.

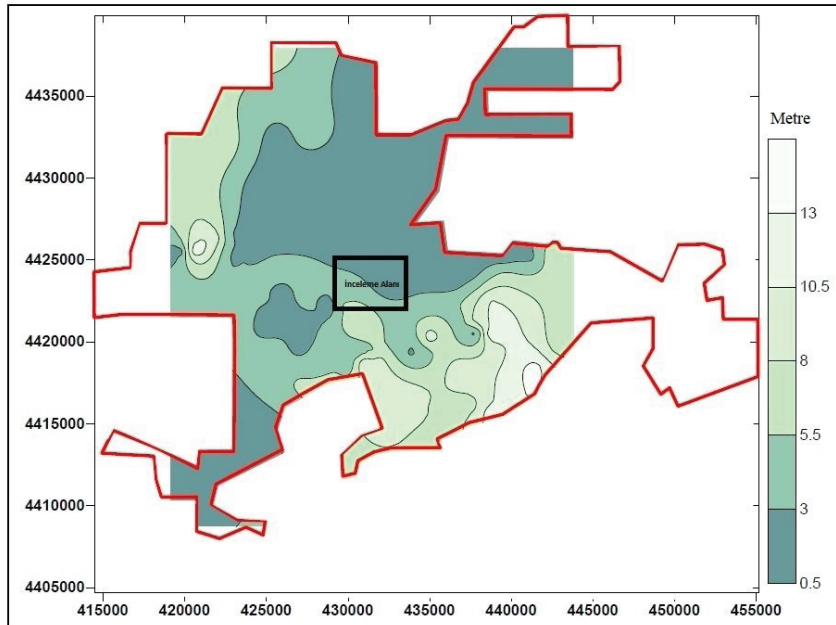
Table 6. Mechanical parameters of the rock units in the study area.

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Yenilme Yüğü P (kg)	Nokta Yükleme Değeri I _s (kgf/cm ²)
SK-68	KAROT-1	4.50-4.95	24.16	605	20.7
SK-68	KAROT-2	15-15.45	25.50	1162	39.8
SK-73	KAROT-1	4.50-4.95	24.19	711	24.4

Yeraltı Su Seviyesi

Erzurum Ovası'nı çevreleyen dağ ve tepelerden ovaya doğru yeraltı ve yerüstü suyu ile sürekli beslenme olması ve havza içerisinde Karasu Çayı'nın geçmesi nedeniyle ovaya sürekli su girişi olmaktadır. Bu nedenle ovadaki yeraltı suyu seviyesi (YASS) yüzeye yakın seviyelerde yer almaktadır. İnceleme alanında Erzurum Ovası'nda açılan kuyuların genelinde yeraltı suyu yüzeye yakın seviyelerde gözlenmektedir. Dağ etekleri ve yamaçlarında

ise daha derinlerde yeraltı suyu seviyesine rastlanmıştır. İnceleme alanının yeraltı su seviyesi dağılım haritası yapılarak, su akış yönünü ve suyun toplanma yerleri konusunda bilgi elde edilmeye çalışılmıştır. Erzurum il merkezinde yeraltı su seviyesi 0.50 m ile 13.00 m arasında değişmektedir (Çizelge 7). Yeraltı suyu seviyesi haritasında görüldüğü üzere, yeraltı suyu derinliğinin havza ortasında 0.5 m ile 3.0 m; havza kenarlarına doğru 3.0 m ile 13.0 m aralığında değiştiği görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Erzurum il merkezi yeraltı suyu seviyesi haritası.

Figure 6. Groundwater level map of Erzurum city center.

Aydın, Kuşkapan, Çodur

Çizelge 7. İnceleme alanındaki sondaj kuyularında yeraltı su seviyesi.

Table 7. Groundwater level in the boreholes at the study area.

Kuyu No	YASS (m)
SK-23	2.00
SK-31	-
SK-34	-
SK-41	9.00
SK-42	-
SK-58	9.80
SK-62	-
SK-64	8.00
SK-68	-
SK-69	-
SK-80	-
SK-90	-
SK-92	2.10

Zemin Taşıma Gücü

Taşıma gücü, temel altında bulunan zeminin herhangi bir yük altındaki etkileşim, yani kaymaya ve göçmeye karşı göstereceği zemin direncini ifade eder. Bir zeminin taşıma gücü etki derinliği; üzerine gelecek olan yapı temel genişliğinin yaklaşık iki katı olarak kabul edilir (Şekercioğlu, 1993). İnceleme alanındaki eski ve güncel alüvyon birimler ile yamaç molozu ve alüvyon yelpaze çökellerindeki temel sondaj çalışmalarında SPT deneyi yapılmıştır. Taşıma gücü hesaplamaları HS-JEOTEK adlı programındaki SPT esaslı yaklaşım ile yapılmıştır (Sönmez, 2004). Çizelge 8’de sondaj kuyularında etkin derinlikteki taşıma gücü ve SPT değerleri gösterilmektedir. Buradaki taşıma gücü temel altında bulunan zeminin herhangi bir yük altındaki etkileşim, kayma ve göçmeye karşı göstereceği zemin direncini ifade etmektedir.

Çizelge 8. İnceleme alanındaki alüvyal zeminlerin taşıma gücü değerleri.

Table 8. Bearing capacity values of the alluvial soils in the study area.

Kuyu No	Taşıma Gücü (kgf/cm ²)	SPT Darbe Sayıları
SK-31	0.89	20
		17
		22
SK-34	0.84	9
		16
		26
SK-41	0.81	11
		11
		6
SK-42	0.88	17
		16
		23
SK-58	1.62	9
		7
		R

Çizelge 8. (devamı)
Table 8. (continued)

SK-62	2.57	R R R
SK-64	2.55	R R R
SK-68	2.57	R R R
SK-69	2.56	R R R
SK-80	2.64	R R R
SK-90	0.92	27 21 16
SK-92 (YASS etki derinliği içerisinde)	0.54	14 18 12
SK-23 (YASS etki derinliği içerisinde)	0.83	29 47 36

*R:Refü (İlerleme Yok)

SPT testi sondaj kuyusu içerisinde yapılan, en uçta “boyuna yarık tüp” olarak bilinen standart örnek alıcısının bağlı olduğu tijlerin üzerine, 63.5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76.2 cm yükseklikten tekrarlı bir şekilde bırakılarak kuyu tabanında toplamda 45 cm’lik penetrasyon sağlanana kadar çakılması ve bunun için gerekli olan darbe sayısı (SPT/N) değerlerinin belirlenmesi olarak bilinir. SPT testlerinin iri taneli veya kaya gibi zeminlerde ortaya koyduğu sonuçlar sağlıklı olmayabilir. Bununla beraber

darbe sayısının azalması zemin taşıma gücünü azaltır. Refü olması ve ilerleme olmaması ise taşıma gücünün yüksek olduğu göstergesidir. İncelenen alanların SPT ve taşıma gücü değerleri ile Çizelge 1’de verilen HRS taşıtlarının zemine uyguladıkları basınçlar açısından değerlendirildiğinde en düşük taşıma gücüne sahip olan kuyu SK-92’dir. Bu noktaya konum olarak en yakın olan nokta ise SK-23 numaralı kuyudur. Her iki kuyuda da etki derinliğinde YASS bulunduğu için benzer SPT değerlerine

sahip kuyulara nazaran taşıma gücü daha düşük çıkmıştır. Fakat bu iki noktanın taşıma gücü ile SPT değerleri arasındaki ilişki birbiri ile uyumludur.

HRS güzergâhında A noktası olarak belirtilen bölgenin raylı sistem taşıtları açısından zemine uyguladıkları basınç değerleri için yetersiz olduğu görülmektedir. Taşıma gücü değerlerinin hesaplandığı SPT testleri etkili derinliğe kadar değerlendirilmiş olup taşıma gücü değerleri bu deney sonuçlarına göre hesaplanmıştır. İlgili hedefe kadar hesaplanan SPT darbe sayıları aşağılara doğru inildikçe farklılık gösterebildiği için taşıma gücü ile etkili derinlikteki SPT darbe sayılarında farklılıklar söz konusu olabilmektedir. Ayrıca zeminin yapısındaki farklılık ve su içeriği de bu duruma sebep olabilmektedir.

Mikrotremor

Yeryüzünde gerçekleşen mikro titreşimler o bölgelerde yerin doğal salınımlarını meydana getirir. Zemin farklı fiziksel özellikleri yerin doğal mikro salınımlarını değiştirecektir. Yerin doğal gürültüsünün ayrıca genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir. Yerin mikro genlikli doğal salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir ve bu şekilde yerin davranış özellikleri belirlenebilir. Bu durumda yerin bu doğal salınımlarından faydalanarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak zemin sınıflamaları yapılabilir. Mikrotremor kayıtlarının doğru ve gürültülü sinyallerden uzak alınabilmesi ölçüm sonuçlarının doğru olması açısından çok önemlidir. Bu sebeple ölçümler için araç trafiği ve insan hareketliliğinin en az olacağı zamanlar tercih edilmelidir. Çalışma sahasında alınan ölçümler Scream 4.4 ve Geopsy yazılımı ile analiz edilerek zemin hakim titreşim periyodu (T_0) ve zemin büyütmesi (A_k) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9. Mikrotremor ölçüm sonuçları.

Table 9. Microtremor measurement results.

Nokta No	T_0 (s)	A_k
M-44	0.24	2.0
M-45	0.15	1.9
M-47	0.32	1.9
M-53	0.24	1.6
M-54	0.13	1.9
M-56	0.08	1.1
M-62	0.24	1.4
M-65	0.16	1.9
M-70	0.16	1.2
M-71	0.12	1.4
M-72	0.11	1.1
M-78	0.16	1.6
M-79	0.83	4.0

BULGULAR

Uygulama alanında; alüvyon tabakası derinliğinin fazla olması, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması sismik kırılma çalışmasıyla S dalgasının üretilmesini zor hale getirmiştir. Araştırma derinliğinin sığ kalarak alüvyal tabaka içerisinde yer alması; düşük frekanslarda uzun dalga boyları ile seyahat eden daha derinlerden bilgi taşıyan ve altta bulunan gevşek zonların tespitini kolaylaştıran aktif kaynaklı yüzey dalgası yöntemi (MASW) kullanılarak yer altı yapısının ortaya çıkarılmasını teknik bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu doğrultuda HRS güzergâhına ilişkin V_{s30} haritası Şekil 7'de gösterilmektedir.

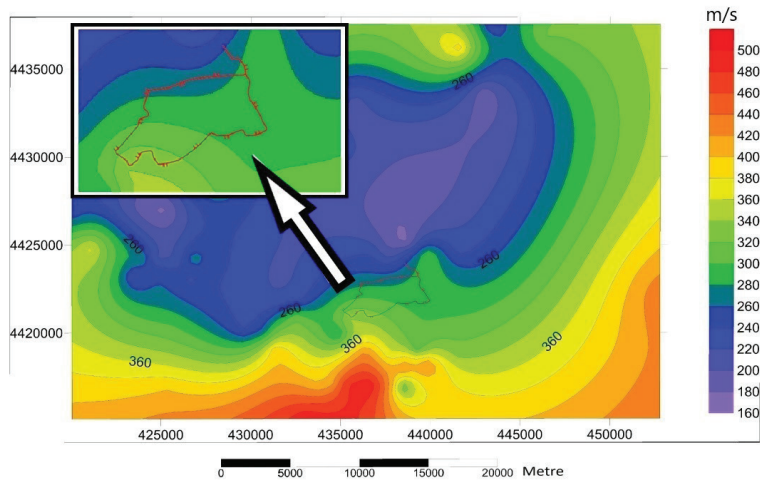
Alana ilişkin hazırlanan V_{s30} haritasında güzergâh planının başladığı A noktasında V_{s30} hızının 180–220 m/s arasında olduğu, B ve C noktalarında ise 280–300 m/s arasında olduğu gözlenmektedir. Sismik hızlar incelendiği zaman A, B ve C noktalarında düşük hızlar ile seyrettiği gözlenmektedir. Burada bulunan zeminin fiziksel parametrelerinden bir veya birkaçının

irdelenmesi gerektiğini göstermektedir. Aşağıda Çizelge 10'da Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) verilerine göre V_{s30} hız sınıflandırma tanımları gösterilmektedir.

HRS çalışma alanında V_{s30} hızı genel olarak 260 ile 360 m/s arasında değişmektedir. TBDY (2018)'e göre bu alan ZD yani orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları sınıfında yer almaktadır. Bu durumla uyumlu olarak Şekil 1'deki görselde de belirtildiği üzere HRS güzergâhı Erzurum Ovası içerisinde alüvyal malzemeler üzerinde yer almaktadır. Erzurum yerleşim merkezinin jeoloji haritasında da görülebileceği gibi havza içerisinde olması günümüze değin yapılan imar planlarına esas jeolojik çalışmalarda, parsel bazlı zemin etüdü çalışmalarında ana kaya tespit edilememesinin sebeplerindedir. Erzurum İli ana kaya derinliği yapılan gravite çalışmalarında kilometreler ile ifade edilmektedir. Fakat bunu doğrulayacak derin sondajlar günümüze değin şehir merkezinde yapılmamıştır. Bu bilgiler doğrultusunda çalışma sahası taşınan ve biriken alüvyal malzemeler üzerindedir.

Ana kaya olmaması ve ana kaya üzerinde bu kadar kalın alüvyal olması sismik hızların düşük seyretmesine sebep olmaktadır. Ayrıca alanda buluna yer altı suyu varlığı, hızların bu bölümlerde daha da düşmesine sebep olmaktadır.

Bir bölgedeki titreşimler, o bölgelerde zeminin doğal gürültüsünü oluşturmaktadır. Farklı zemin koşullarına göre zeminin doğal gürültüsü de farklı olacaktır. Zeminin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir. Zeminin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek etkin salınım periyotları saptanabilir ve bu şekilde davranış özellikleri belirlenebilmektedir. Bu durumda zeminin doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak zemin sınıflamaları yapılabilmektedir. Bu amaçla çalışma hafif raylı tren güzergâhına isabet eden bölgede hazırlanan mikrotremör ölçümler alınmıştır. Elde edilen ölçümler neticesinde alana ilişkin zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütme değeri haritaları oluşturulmuştur (Şekil 8).



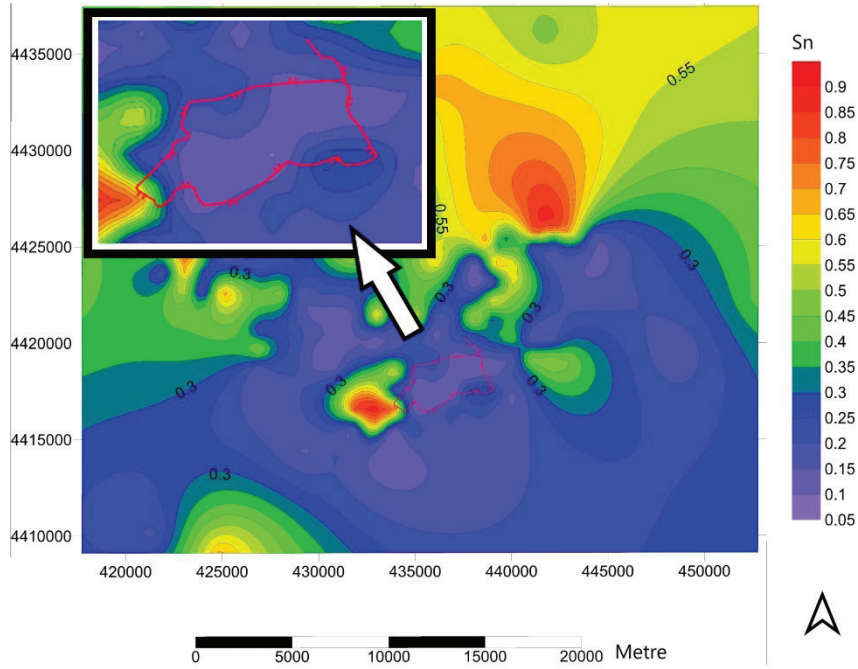
Şekil 7. HRS güzergâh planı ve alana ilişkin V_{s30} haritası.

Figure 7. LRS route plan and V_{s30} map of the area.

Aydın, Kuşkapın, Çodur

Çizelge 10. TBDY'ye göre V_{s30} hız sınıflaması (TBDY, 2018).Table 10. V_{s30} velocity classification according to TBDY (TBDY, 2018).

Zemin Sınıfı	Tanım	Üst 30 Metre Ortalama (V_{s30}) m/s)
ZA	Sağlam ve sert kayalar	$V_s > 1500$
ZB	Az ayrılmış orta sağlam kayalar	$760 < V_s < 1500$
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	$360 < V_s < 760$
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	$180 < V_s < 360$
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	$V_s < 180$
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.	

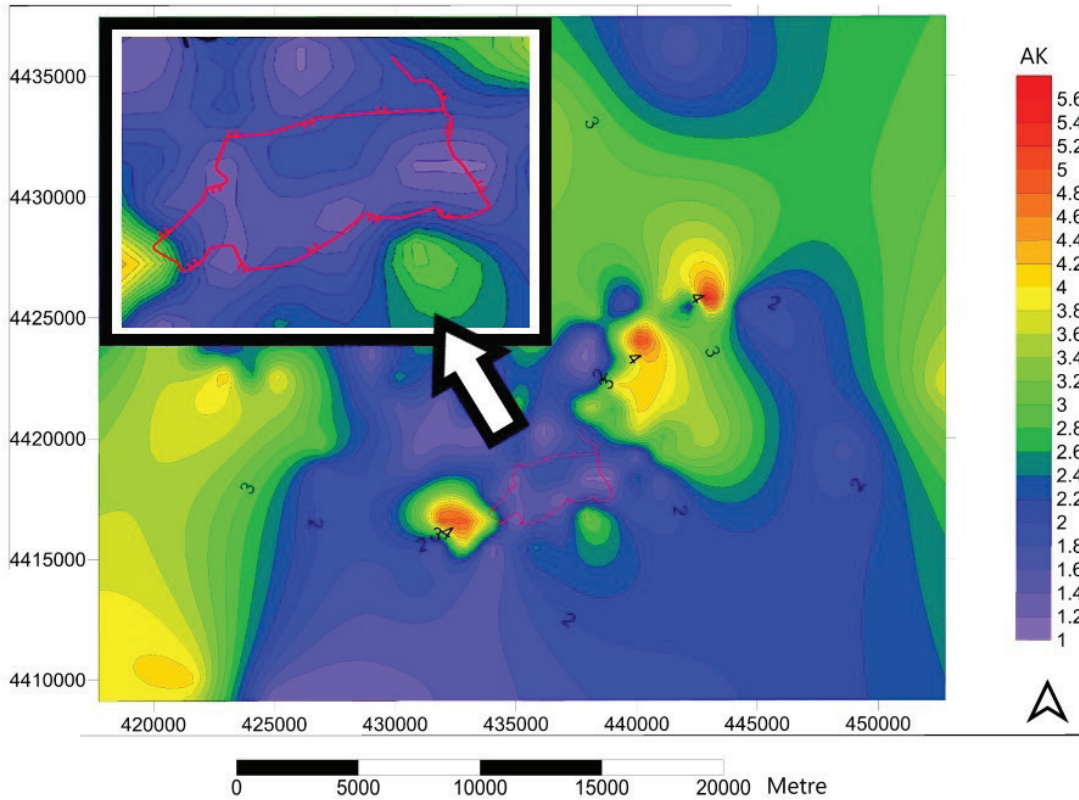


Şekil 8. HRS güzergah planı ve alana ilişkin zemin hakim titreşim periyodu haritası.

Figure 8. LRS route plan and soil dominant vibration period map of the area.

Şekil 8’de bulunan zemin hakim titreşim periyodu incelendiğinde B noktasında 0.80 s, C noktasında 0.5 s değeri gösteren yüksek periyotlar gözlenmektedir. Bu alanın fiziksel parametrelerinden biri veya birkaçında çeşitli sorunlara işaret etmektedir. Bununla beraber D-E aksında zemin hakim titreşim periyodu 0.05 – 0.25 s aralığında düşük salınımlar göstermektedir. Bu düşük değerlerde bu bölgede bulunan zeminlerin

fiziksel parametrelerinin diğer noktalara göre yüksek dayanıma sahip olduğunu işaret etmektedir. Şekil 9’da bulunan zemin büyütme haritası incelendiğinde B noktasında 3.6 – 3.8 aralığında zemin büyütme değeri gözlenmekte ve bu da zeminin fiziksel parametrelerinin irdelenmesi gerektiğini ifade etmektedir. D - E aksı incelendiğinde zemin büyütme değeri 1 – 1.4 aralığındadır.



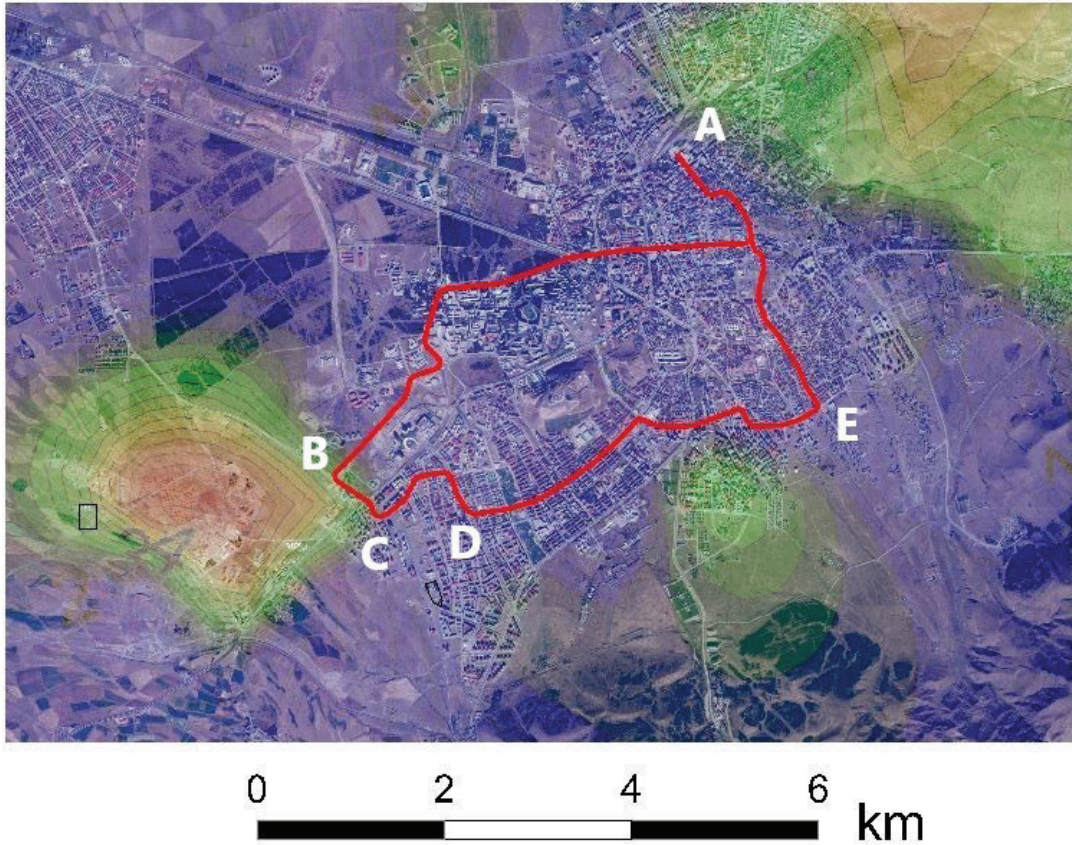
Şekil 9. HRS güzergâh planı ve alana ilişkin zemin büyütme değeri (Ak) haritası.

Figure 9. LRS route plan and soil amplification (Ak) map of the area.

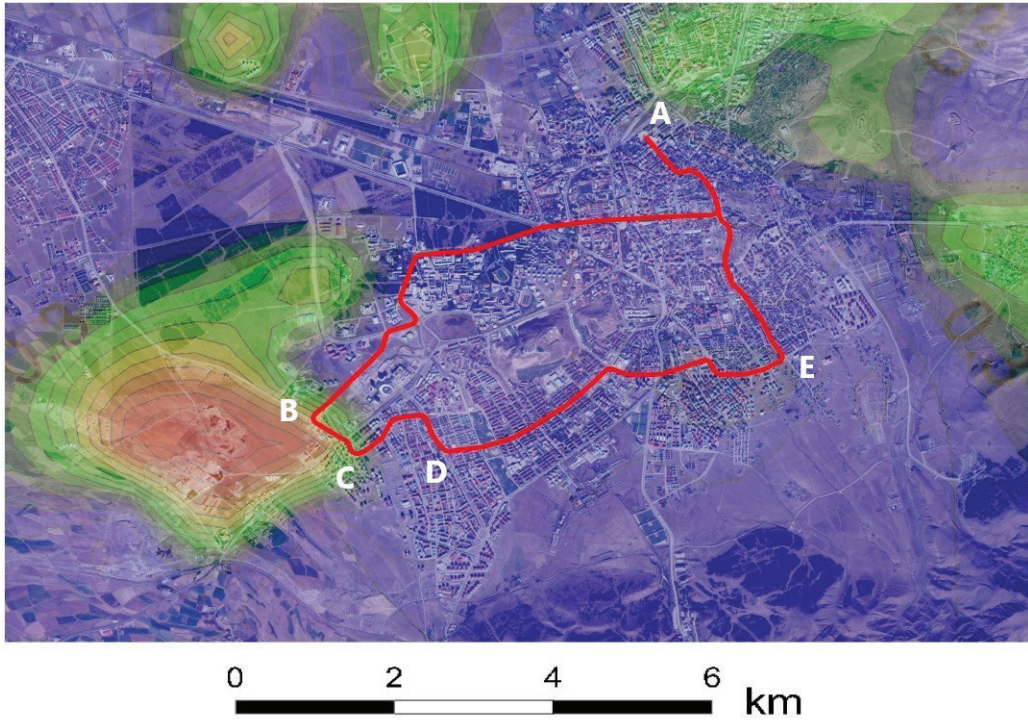
Jeolojik incelemelerde uydu görüntüleri ile destekli Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanılması yapılan incelemelerin güçlendirilmesi adına çok önemlidir. Bununla birlikte Google Earth programının sunmuş olduğu güncel uydu görüntüleri sayesinde yapılan çalışma alanı daha detaylı incelenebilmektedir (Tekin ve Sagular, 2016). HRS güzergâhında A noktası olarak belirlenen bölge günümüzde aktif olarak kullanılmakta olan şehirlerarası tren garının yanında bulunmaktadır. B, C ve D noktaları ise Erzurum Şehir Hastanesi ve Bölge Eğitim

Araştırma Hastanesine 600 metre uzaklıkta yer almaktadırlar. E noktası ise şehirleşmenin arttığı ve TOKİ konutlarına yakın bölgede bulunmaktadır.

Şekil 10’da gösterimi bulunan haritada zemin büyütme değerleri ile çizilen zemin büyütme haritası, uydu haritası ile üst üste çakıştırılmıştır ve HRS güzergâhı üzerine eklenmiştir. Bu şekilde hem büyütme değerlerini, hem güzergâh çalışma alanının uydu görüntüsü ile beraber inceleme fırsatı sunmaktadır.



Şekil 10. Uydu görüntüsü üzerinde HRS güzergâh planı ve alana ilişkin zemin büyütme değeri (Ak) haritası.
Figure 10. LRS route plan and soil amplification value (Ak) map of the area on the satellite view.



Şekil 11. Uydu görüntüsü üzerinde HRS güzergah planı ve alana ilişkin zemin hakim titreşim periyodu haritası.

Figure 11. LRS route plan and soil dominant vibration period map of the area on the satellite view.

Zeminde doğal (deprem, heyelan vs) veya çeşitli sebeplerden salınım meydana geldiğinde bu dalgalar yerin içerisinde farklı hızlarda yayılmaya başlarlar. Bu dalgalar yeryüzüne yayıldıkları da saniyelerden dakikalara kadar sürebilecek titreşimler meydana getirirler. Belirli bir alandaki dalganın oluşturduğu titreşimin süresi ve şiddeti; depremin büyüklüğüne, kaynaktan uzaklığına ve dalgaların yol aldığı zeminin fiziksel parametrelerine bağlıdır (Akıl vd., 2008). Zemin tabakaları birer dalga filtresi veya dalga katsayısını artıran bir güç alanı gibidir. Bazı frekanstaki sismik dalgalar sönümlenirken bazılarının da genlikleri artmaktadır. Sismik dalgaların zemin tabakaları içerisindeki değiştirdiği değişimlerin tümü zemin etkisi olarak nitelendirilmektedir. Genliklerini artırıcı özellikle olan güç alanı gibi çalışarak dalgaların

genliğini artıran bu alanlara zemin büyütme alanı, büyütme katsayısı da zemin büyütme olarak nitelendirilir. Şekil 10'da bulunan zemin büyütme haritası incelendiğinde B ve C noktalarında meydana gelebilecek herhangi bir salınım zeminin dalgaları büyütme özelliğinden belirlenen katsayılarla genliği artırabileceği, Şekil 11'de bulunan zemin hakim titreşim periyodu haritası incelendiğinde ise yine B ve C noktalarında hakim titreşim periyotunun yüksek değerler gösterdiği bu alanlarda olası dalgaların periyotlarının yüksek değerler göstereceği gözlenmektedir.

A noktasına yakın konumda bulunan ve en düşük taşıma gücüne sahip 92 numaralı sondaj kuyusunun sıvılaşma potansiyeli logu Şekil 12'de sunulmuştur.

SIVILAŞMA POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ

Litoloji	Derinlik 0 (m)	Zemin Tanımı	SPT-N		(N1)80	ITC(%)		CSR	CRR	GK	L _s
			0	50		0	100				
GWT	2.25	Siltli Kum	14	0	0	11	0.0	xx	-NL-	0.0	
		Siltli Kum	18	15.4	10	0.308	0.128	0.525	11.588		
		Siltli Kum	12	9.8	6	0.353	0.11	0.312	11.551		
		Çakıllı Siltli Kum	14	10.1	9	0.38	0.121	0.317	10.428		
		Çakıllı Siltli Kum	50	37.2	30	0.388	xx	-NL-	0.0		
		Çakıllı Siltli Kum	50	34.7	13	0.408	xx	-NL-	0.0		
		Çakıllı Siltli Kum	50	34.3	12	0.403	xx	-NL-	0.0		
		Çakıllı Siltli Kum	50	32.4	5	0.394	xx	-NL-	0.0		
		Çakıllı Siltli Kum	50	30.8	22	0.382	xx	-NL-	0.0		

Deprem Büyüklüğü: 7.5 $a_{max}(g)$: 400

L_s: Sivilaşma Şiddeti İndeksi

NL: Sivilaşma beklenmez GK: Güvenlik katsayısı

CSR: Çevresel gerilim oranı Büyüklük düzeltmesi(MSF)_{0.999}

CRR: Çevresel dayanım oranı

Sonmez ve Gökçeoğlu (2005) e göre Sondaja ait (L_s): 33.56

Yıldırım vd., (2001) e göre SPT esaslı analiz uygulanmıştır.

Güncelleme için <http://nyus.hacettepe.edu.tr/~haruns>. Analiz sonuçlarına ilişkin tüm sorumluluk kullanıcıya aittir.

* Kıl içeriği ve LL ile karar ver. **Andrews and Martin (2000)**

LL < %32 ve kıl > %10 ise ilave çalışma gerekir.

LL > %32 ve kıl < %10 ise ilave çalışma gerekir.

LL > %32 ve kıl > %10 ise sivilaşma gelişmez.

LL < %32 ve kıl < %10 ise sivilaşır.

Sonmez ve Gökçeoğlu (2005) Sivilaşma Şiddeti İndeksi (L_s)

(L_s: 0 NL)-(L_s: 1-14 Çok Düşük)-(L_s: 15-34 Düşük)-(L_s: 35-84 Orta)

(L_s: 85-84 Yüksek)-(L_s: 85-100 Çok yüksek)

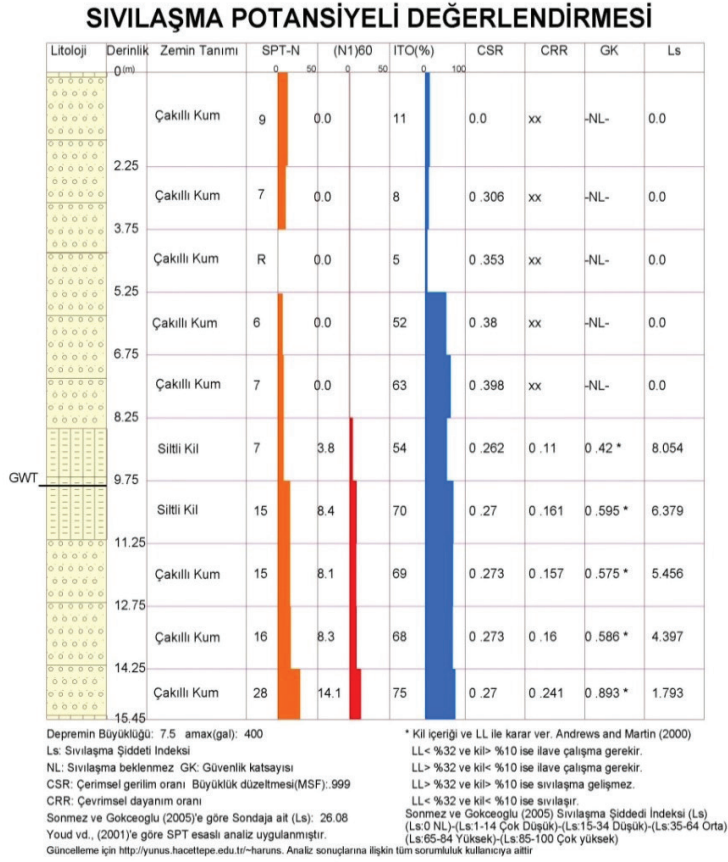
Şekil 12. SK-92 numaralı kuyunun sivilaşma potansiyeli logu.

Figure 12. Liquefaction potential log of borehole SK-92.

Sunulan logda ilk tabakada sivilaşma şiddet indeksi 0 olmakla beraber YASS sınırlarında sivilaşma potansiyeli yükselmektedir. Sondaj kuyularından alınan numunelerin zemin mekaniği laboratuvar testlerinde su içeriği 26.2 olarak hesaplanıp siltli kum olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu noktada 2.25 m derinliğinde yer altı su seviyesi sebebiyle sivilaşma potansiyelinin bulunduğu gözlenmiştir. Yeraltı su seviyesinin zemine bu kadar yakın raylı sistem hattı üzerinde küçük deformasyonlara sebep olabilme ihtimalini

taşımaktadır. Raylı sistemler üzerindeki küçük deformasyonlar ise büyük problemleri meydana getirebilmektedir.

B ve C noktaları arasında bulunan SK-58 numaralı kuyuya ait sivilaşma potansiyeli logu ise Şekil 13'te verilmektedir. Sondaj kuyularından alınan numunelerin zemin mekaniği laboratuvar testlerinde su içeriği %20.8 olarak hesaplanan siltli kum-iyi derecelendirilmiş çakıllı kum olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. SK-58 numaralı kuyunun sıvılaşma potansiyeli logu.

Figure 13. Liquefaction potential log of borehole SK-58.

Bu bölgede zeminde taşıma gücü yeterli olsa da zeminin hakim salınımlarının genlik spektrumları ile çıkarılan zemin büyütme değeri ve zemin hakim titreşim periyodu yüksek çıkmıştır. Taşıma gücünün yüksek olması zeminin yüzeye yakın tabakalarının çakıllı kum olmasından ileri gelebileceği fikrini göz önüne getirmektedir. Bununla beraber alanda hazırlanan Ak ve ZHTP (zemin hakim titreşim periyodu haritası) haritalarında zeminin fiziksel özelliklerinde problemler gözlenmektedir. Zemindeki sorununun yeraltı suyundan ve buna bağlı olarak zeminin rijitite sorunlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bununla beraber söz konusu

bölgenin YASS 9.80 m derinliğindedir. Bununla beraber sıvılaşma şiddeti indeksi bu derinlikte siltli kum formasyonu ile artmaktadır. Bu durum Ak ve ZHTP haritalarında bu bölge için olumsuz zemin özelliklerinin 9 metre sonrası bulunan YASS ve sıvılaşma şiddeti indeksinin yüksek olduğundan olabileceği düşünülmektedir.

D-E doğrultusu yani doğu – batı aksı incelendiğinde bu hat üzerine denk gelen zemin büyütme değerleri 1.0 – 1.4 katsayısı aralığında, zemin hakim titreşim periyodu ise 0.05–0.25 s aralığında düşük değerler gösteren stabil alanları ifade ederken, V_{s30} sismik hızları 320–360 m/s

yüksek değerler gösteren masif, katı ve sert formasyonları ifade etmektedir.

Şekil 14'te ise belirtilen durumlar göz önünde bulundurularak mevcut güzergâhın zemin yapısına uygun olmayan noktaları revize edilerek oluşturulmuş alternatif güzergâh gösterilmektedir.

Mevcut güzergâh üzerinde bulunan B ve C noktaları zemin emniyeti açısından uygun olmadığı için bu noktaları güzergâh dışında bırakacak alternatif bir güzergâh planlanmıştır. Alternatif güzergâhların belirlenmesi zemin emniyeti çok önemlidir. Bazı koşullarda alternatif güzergâhların bulunamama durumu söz konusu olabilmekte veya oluşabilen güzergâh daha kötü zemin özellikleri içerebilmektedir (Seyitoğlu vd., 2016). Ulaşım alanında alternatif güzergâh planlama işlemi; yolcu talebinin yüksek olması beklenen Erzurum Şehir Hastanesi ve

Bölge Eğitim Araştırma Hastanesi ön planda tutulmuştur. Mevcut güzergâhta B ve C noktaları bu iki hastaneye biraz daha uzak konumda olduğu için yolcu memnuniyetini düşürebilmektedir. Çünkü bu bölgeye ulaşım sağlamak isteyen personeller, hastalar ve hasta yakınlarının en kısa mesafede hastaneye ulaşmaları; hizmet kalitesi ve insan sağlığı adına da çok önemlidir. Bu doğrultuda alternatif güzergâhta HRS hattı B ve C noktaları yerine hastaneler bölgesine yaklaştırılmıştır. Diğer bir problemlilik nokta olan A noktası ise tren ve HRS için önemli bir aktarma noktasıdır. Bu sebeple A noktasının değiştirilme durumu yolcu talebini düşürebilmektedir. Yolcu talebini karşılamak amacıyla bu nokta için zemin iyileştirilmesi yapılması daha uygun olmaktadır. Sonuç itibarıyla B ve C noktalarının revize edilmesi ve A noktasının güçlendirilmesi ile zemin güvenliği yüksek ve yolcu talebine daha uygun bir güzergâh elde edilmiştir.



Şekil 14. HRS için zemin durumuna uygun olarak önerilen alternatif güzergâh.

Figure 14. An alternative route recommended for LRS in accordance with the ground condition.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışma sonucunda HRS güzergâhı üzerinde bulunan A, B ve C noktalarında zemine ilişkin hızların düşük olması, su içeriği, yeraltı su seviyesi gibi bazı sorunlar olduğu tespit edilmiştir. Bu noktalarda zemin büyütme katsayısı ile zemin hakim titreşim periyodu yüksek değerler göstermektedir. Bu noktalarda ortaya çıkan bu fiziksel sorunları ayrıntılı incelemek için alanda yapılan diğer etüt ve deneyler incelenmiştir.

Hazırlanacak olan uygulama projelerinden öncelikle A, B ve C noktalarının bulunduğu alanlarda detaylı inceleme yapılarak A noktası için geoteknik iyileştirme projesi hazırlanması, B ve C noktaları için güzergâh revize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. B-C noktalarında geoteknik iyileştirme projesinin önerilmemesi ve güzergâhta revizeye gidilmek istenilmesinin temelinde zemin özellikleri ile beraber alanın ulaşım talebi de göz önüne alınmıştır. Çünkü yeni yapılmış olan Erzurum Şehir Hastanesinin hemen bitişiğine taşınmış olan bu HRS hat kesimi; hem bu bölgede çalışan bireylerin hem de hasta ve hasta yakınlarının hastaneye erişimlerinin kolaylaşması amacını gütmektedir. Benzer şekilde A noktası ise tren garının bitişiğinde olduğu için başlangıç durağının revize edilmemesi ve yolcu aktarma işlemlerinin hızlı şekilde sağlanması ulaşım adına daha uygun olacaktır. Bu doğrultuda revize edilecek olan HRS güzergâhına ait zemin problemlerinin minimize edilmesi, söz konusu olabilecek deformasyonlardan kaynaklı raylı sistem kazalarının önüne geçilmesi ve HRS taşıtlarının yolcu memnuniyetinin artırılması sağlanacaktır. Yapılan bu çalışma ile herhangi bir raylı sistem güzergâhı belirlenirken zemin özelliklerinin araştırılması ve güzergâhın bu zemine uygun hale getirilmesinin gerekliliği ortaya konmuştur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada verilerin temin edilme sürecinde desteklerini esirgemeyen Erzurum Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Akıl, B., Akpınar, K., Üçkardeşler, C., 2008. Doğu Anadolu fay zonu üzerinde yer alan Gölbaşı (Adıyaman) yerleşim alanındaki zeminlerin jeoteknik özellikleri ve değerlendirilmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 51 (1), 43-57.
- Altınlı, İ.E., 1963. 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Erzurum paftası izahnamesi: MTA Yayınları, 131, Ankara.
- Argyroudis, S., Kaynia, A.M., 2014. Fragility functions of highway and railway infrastructure. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 27, 300-326.
- Baştürk, G., 2014. Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ankara, 120s.
- Bergquist, B., Söderholm, P., 2014. Data analysis for condition-based railway infrastructure maintenance. Quality and Reliability Engineering International, 31, 773-781.
- Bozankaya, 2020. <https://www.bozankaya.com.tr/tramvay/> 1 Şubat 2020.
- Burulaş, 2020. <https://www.burulas.com.tr/tramvay-arac-ozellikleri.aspx>, 2 Şubat 2020.
- BSSC (Building Seismic Safety Council), 1997. NEHRP-Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions and Part 2: Commentary, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report Nos. FEMA 302 and 303), Washington, D.C.
- Candemir, I., Tanyel, S., 2005. Hızlı raylı sistemlerin yolcu taşıma kapasite hesaplamaları ve Türkiye'deki benzer sistemlerin birbirleriyle

Aydın, Kuşkapan, Çodur

- karşılaştırılması. 6. Ulaştırma Kongresi; 23-25 Mayıs 2005, İstanbul, 309-322.
- Cui, S., Guo, C., Su, J., Cui, E., Liu, P., 2019. Seismic fragility and risk assessment of high-speed railway continuous-girder bridge under track constraint effect. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 1639–1665.
- Dikmen, Ü., Başokur, A.T., Akkaya, İ., Arısoy, M.Ö., 2009. Yüzeysel dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi. *Yerbilimleri*, 31 (1), 23–32.
- Durmaray, 2020. <http://www.durmaray.com/ipekbocegi-tramvay/2/3/5> 1 Şubat 2020.
- Erentöz, C., 1949. Hınıs 65/2 paftasının raporu: MTA, Derleme rapor no. 2159 (yayımlanmamış).
- Erdoğan, Ç., 2011. Kocaeli hafif raylı taşıma sistemi fizibilite raporu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 227s.
- Erdoğan, T., Soytürk, N., 1974. Tekman baseni jeolojisi ve hidrokarbon imkânları raporu : TPAO, Arama Grubu Başkanlığı Raporu, 870, 20, Ankara.
- Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2018. <https://www.erkurum.bel.tr/ebb-aykome-ice/1005/24038/H.html>, 12 Ocak 2020.
- Gündüz, A.Y., Kaya, M., Aydemir, C., 2011. Kentiçi ulaşımında karayolu ulaşımına alternatif sistem: raylı ulaşım sistemi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 2 (1), 134-151.
- Harami, A., Furlan, R., 2020. Qatar National Museum-Transit oriented development: The master plan for the urban regeneration of a 'green TOD'. *Journal of Urban Management*, 9, 115–136.
- Kaya, A., 2005. Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü hafif raylı ulaşım sistemi uygulama projesi ve değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Yüksek Lisans Tezi, 120s.
- Kolos, A., Taczanowski, J., 2016. The feasibility of introducing light rail systems in medium-sized towns in Central Europe. *Journal of Transport Geography*, 54, 400–413.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). 2003. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeoloji-haritalari>, 14 Ocak 2020.
- Mercier, J., 1948. Hınıs 65/2 paftasının raporu: MTA, Derleme rapor no. 2258 (yayımlanmamış).
- Murteza, M., 2010. Raylı sistem yatırımları fizibilite etütleri ve yapım yöntemleri. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 71s.
- Ocak, İ., Manisalı, E., 2006. Kentsel raylı taşıma üzerine bir inceleme (İstanbul örneği). *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2), 51-59.
- Önder, H.G., Akdemir, F., 2019. Türkiye'deki kentiçi raylı toplu taşıma sistemlerinin ulaşım ana planları bağlamında değerlendirilmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, 10, 31-45.
- Railwayrail. 2015. <https://www.railwayrail.com/download/profile-section-of-49e1-s49-steel-rail/> 12 Ocak 2020.
- Seyitoğlu, G., Kaypak, B., Aktuğ, B., Gürbüz, E., Esat, K., Gürbüz, A., 2016. A hypothesis for the alternative southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Northwest Turkey. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59 (2), 115-130.
- Sönmez, H., 2004. HS Jeotek, Jeoteknik Paket Programı, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Vakfı.
- Stenström, C., Parida, A., Galar, D., 2012. Performance indicators of railway infrastructure. *International Journal of Railway Technology*, 1 (3), 1-18.
- Şafak, Ü., Kaya, M., 2016. Köprüköy / Erzurum (Doğu Anadolu) yöresi Ostrakod Faunası ve ortamsal özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 153, 113-137.
- Şenlik, İ., 2013. Kent içi raylı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi. *Elektrik Mühendisleri Odası*. 24-26.
- Tarhan, R., 2009. Raylı sistemlerde ölçme teknikleri ve donanımları. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara. Akpınar, B., 2005. Şehir içi raylı sistemlerde deformasyon ölçmeleri. Harita ve Kadastro Mühendisleri

- Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu
2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25
Kasım 2005, İstanbul, 18-27.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi
Başkanlığı.
- Tekin, B.M., Sagular E.K., 2016. Jeolojik
çözümlenmelerde uydu görüntüleri destekli
coğrafi bilgi sistemi (CBS) yöntemleri; yeni Foça
(İzmir) yöresi örneği. Türkiye Jeoloji Bülteni, 59
(1), 37-54.
- Yıldırım, N., Parlak, O., 2008. Tekman-Pasinler
(Erzurum) arasında yüzeyleyen ofiyolitik
birimlerin jeolojisi ve petrografik özellikleri.
Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Dergisi, 18 (2), 35-45.
- Yılmaz, A., Terlemez, İ., Uysal, Ş., 1988. Hınıs
(Erzurum güneydoğusu) dolaylarının bazı
stratigrafik ve tektonik özellikleri. MTA Dergisi,
108, 38-56.
- Yılmaz, H., Yılmaz, A., 2016. Oltu-Balkaya
havzasının (KD Türkiye) tektonik konumu ve
Geç Kretase sonrası jeolojik evrimi. Türkiye
Jeoloji Bülteni, 59 (1), 1-25.