

Yeraltı Yapılarının Sismik Hasar Görebilirliği ve İyileştirme Stratejileri: Kahramanmaraş Tünelleri Üzerine Bir Örnek Çalışma

Gökhan Külekçi^{1*}, Alaaddin Vural²

¹Maden Mühendisliği Bölümü / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

²Jeoloji Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Türkiye

*(gakulekci@gumushane.edu.tr)

(Geliş Tarihi: 13 Ekim 2023, Kabul Tarihi: 21 Ekim 2023)

(2nd International Conference on Recent Academic Studies ICRAS 2023, October 19-20, 2023)

ATIF/REFERENCE: Külekçi, G. & Vural, A. (2023). Yeraltı Yapılarının Sismik Hasar Görebilirliği ve İyileştirme Stratejileri: Kahramanmaraş Tünelleri Üzerine Bir Örnek Çalışma. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(10), 12-17.

Özet – Depremler, özellikle dağlık bölgelerde, ulaşım altyapısına ciddi zararlar verebilen doğal felaketler arasındadır. Bu tür afetlerin etkisini azaltmanın yolları araştırılırken, yeraltı boşlukları ve tünellerin depremlerden daha az etkilendiği bilinmektedir. Bu çalışma, Kahramanmaraş ilinde meydana gelen iki büyük deprem sonrası yeraltı boşluklarına ve tünel yapılarına odaklanmaktadır.

Depremler, yeraltındaki hareketlerle karakterizedir ve bu nedenle yeraltı yapıları, yer üstü yapılarına göre daha dirençli olabilir. Araştırma, bu nedenle yeraltı tünellerin önemini ve dayanıklılıklarını ele almaktadır. Özellikle ulaşım altyapısının sağlanmasında tüneller yüzyıllardır önemli bir rol oynamaktadır.

Kahramanmaraş ilindeki iki büyük deprem sonrası, bu tünellerde meydana gelen çökmeler incelenmiş ve deprem sonrası ulaşımın sürdürülebilirliği için öneriler sunulmuştur. Öneriler arasında püskürtme betonun ve beton liflerinin kullanımı gibi teknik ayrıntılar bulunmaktadır. Ayrıca, tünellerin dayanıklılığı ve güçlendirilmesi, inşaat aşamasındaki jeolojik yapı ve yerel zemin koşullarıyla yakından ilişkilidir.

Sonuç olarak, bu çalışma, deprem sonrası ulaşımın hayati bir önem taşıdığı durumlarda, yeraltı boşluklarının ve tünellerin güçlendirilmesi için önemli rehberlik sunmaktadır. Bu tür güçlendirmeler, güvenli ve kesintisiz ulaşımın sağlanmasına katkı sağlayabilir ve benzer coğrafyalardaki diğer bölgeler için de bir model oluşturabilir. Bu araştırma, yeraltı yapıların ve tünellerin depremlere karşı dayanıklılığını artırma konusundaki önemli bir adımdır.

Anahtar Kelimeler – Deprem, Yeraltı Boşlukları, Tünel, Fay Hattı, Jeolojik Yapı

1. GİRİŞ

Depremler, dünyanın iç katmanlarının doğal veya yapay süreçler sonucunda aniden kırılmasıyla oluşan titreşimlerdir. Bu titreşimler, dalga şeklinde ilerleyerek yer yüzeyinin stabilitesine ve duyarlılığına bağlı olarak çevreyi etkileyen olaylardır ve deprem olarak adlandırılırlar. Depremler yer kürenin oluşumu ve soğuma süreci sırasındaki sürekli tabaka hareketlerinin sonucudur. Dünyamızın merkezinden yer yüzeyine kadar dört farklı yapıdaki katmanlarla kaplıdır. Bu katmanlar

içten dışa doğru sırasıyla katı çekirdek, yarı viskoz yarı katı manto, akışkan astenosfer ve katı litosferdir [1]. Litosfer, yeraltı yapılarının bulunduğu ve üzerinde yaşayan canlıların yer aldığı katmandır. Litosfer, astenosfer denilen akışkan bir tabaka üzerinde hareket eder. Bu tür hareketler, tektonik olarak adlandırılan fay hatları oluşturur. Levhaların farklı şekillerde birbirleriyle etkileşimi (sürtünme, üst üste binme, altına dalma, sıkışma) sonucu fay hatlarında ani kırılmalar meydana gelir ve bu kırılmalar yer yüzeyinde depremlere neden olur.

Depremler tarih boyunca dünya üzerinde meydana gelmiş ve gelecekte de devam edecek olan doğal olaylardır. Geçmişte yaşanan bu sismik sarsıntılar, birçok yeraltı ve yer üstü yapının yıkılmasına, coğrafi şekillerin değişmesine ve insan hayatına etkide bulunmuştur.

Tüneller, mağaralar gibi yeraltı yapıları farklı amaçlar için kullanılırlar. Ulaşım, madencilik, su temini, enerji üretimi ve daha pek çok uygulama için tüneller inşa edilir. Tünellerin yer üstü yapılarına göre daha dayanıklı olduğuna dair yaygın bir inanç vardır. Ancak, yeraltında meydana gelen kırılmalar sonucu ortaya çıkan sarsıntılar, yer üstü yapılara göre iki kat daha fazla etki edebilir [2,3]. Yine de, nadiren de olsa şiddetli depremler sonrasında yeraltı yapıları da zarar görebilir. Özellikle geçmiş yıllarda ilkel yöntemlerle inşa edilen ulaşım tünelleri, demir donatı ve fiber malzeme eksikliği nedeniyle deprem sonrası betonun kırılma bir şekilde çökmesine, tünel kaplamalarının yırtılmasına ve moloz düşmesine neden olabilir (Şekil 1). Bu, özellikle ulaşım amaçlı tünellerde ciddi bir tehlike oluşturur. Ayrıca, tünellerde meydana gelen çökmeler, deprem sonrası bölgeye acil yardımın gitmesini engelleyebilir ve bölgede büyük bir kaosa yol açabilir. Bu nedenle, bu güncel sorun acilen ele alınmalı ve çözüm yolları araştırılmalıdır.

Yeraltında bulunan tabakaların doğal ya da yapay süreçler sonucunda aniden kırılması sonucu oluşan titreşimlerin, dalgalar halinde ilerleyerek geçtikleri ortamın stabilitesine ve duyarlılığına bağlı olarak etkilemesi olayına deprem denir. Deprem yerkürenin oluşması ve sonrasında soğuması sürecinde devam eden tabaka hareketlerinin sonucudur. Dünyanın merkezin den bulunduğumuz yer küreye kadar 4 farklı yapıda katman bulunur. Bu katmanlar içten dışa doğru katı halde bulunan Çekirdek, yarı viskoz yarı katı olan Manto, akıcı olan Astenosfer ve katı litosferdir [1]. Üzerinde canlının bulunduğu ve kalınlığı 80000 m'yi bulan katı haldeki Litosfer katmanı akıcı bir katman olan Astenosferin üzerinde yüzmektedir. Yüzme şeklinde ifade edilen hareketler tektonik olarak fay adı verilen yırtıklar oluşturur. Katmanlarda yüzer şekilde bulunan levhaların birbiri ile ilişkisi (sürtünme, birbirlerinin üstüne çıkma, altına girme, birbirlerini sıkıştırma) sonucu faylarda ani kırılmalar oluşur bu kırılmalar deprem olarak yer yüzüne yansır. Depremler yüz yıllar boyunca

oluşmuş ve oluşmaya devam edecektir. Geçmişte meydana gelen bu sismik sarsıntılarda birçok yeraltı ve yer üstü yapı yıkılmış coğrafi şekiller değişmiştir.

Tünel, mağara, gibi yapıların depreme yer üstü yapılarından daha dayanıklı olduğu sanılmakta idi. Yeraltında oluşan kırılma sonucu ortaya çıkan sarsıntılarının yer üstü yapılarını iki kat fazla etkilediği bir gerçektir [2,3]. Ancak nadir de olsa şiddetli depremler sonrasında yeraltı yapılarının da zarar gördüğü bir gerçektir. 1906 San Francisco, 1930 Tanna, 1978 Izu-Oshima-Kinkai, 1995 Kobe, 1999 Düzce-Bolu, 1999 Chi-chi, 2004 Chuetsu, 2005 Kashmir, 2023 Kahramanmaraş gibi depremler sırasında kalıcı yer hareketlerinden dolayı tünellerde hasara yol açan birkaç örnek vardır [3]. Yer yüzünde bulunan birçok tünel maalesef ki donatısız beton kaplamalara sahiptir [4-7,9]. Özellikle geçmiş yıllarda ilkel yöntemlerle yapılan ulaşım tünellerinde demir donatı ve fiber malzeme kullanılmadığı için, deprem sonrasında beton kırılma bir şekilde çökmesine, tünel kaplamalarının yırtılmasına bu sebep ile moloz düşmesine neden olabilir (Şekil 1). Özellikle ulaşım amaçlı yapılan tünellerde deprem sırasında moloz düşmesi veya çökmenin oluşması içinde geçen araçlar açısından büyük tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca tünellerde oluşan çökmeler, deprem sonrasında bölgeye acil yardımın gitmesini engelleyecek ve bölgede büyük bir kaosa neden olacaktır. Bu nedenle, bu güncel sorun acilen ele alınmalıdır.



Şekil 1. Kahramanmaraş depremi sonrası tünellerde oluşan moloz dökülmesi ve yırtıklar [9]

Yeraltına girmenin ve yeraltında kazı yapmanın iki sebebi vardır. Bu sebeplerden birincisi yeraltında oluşturulacak boşluğun depolama (petrol, LPG gazı depolama, vb.) ve ulaşım amacıyla kullanmak, ikincisi ise yeraltında bulunan madenlerden yararlanmaktır. Her iki durumda da tüneller

çalışmaların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Tüneller yatay olarak veya yataya yakın bir şekilde açılırlar. Yeraltı çalışmalarında çalışma bölgesine ulaşım tünellerle sağlandığı gibi tünellerin esas kullanım amaçları karayolu ulaşımı, demiryolu ulaşımı, kanalizasyon, haberleşme hatları olarak sıralanabilir. Madenlerde tünel terimi yerine galeri, başaşağı, başyukarı ve baca terimleri kullanılmaktadır.

Tüneller medeniyetin gelişmesinde büyük rol oynamışlardır. Son yıllarda şehirleşme oranındaki ve nüfus sayısındaki aşırı artış bu bölgelerde yeraltı yapılarına olan gereksinimi büyük ölçüde artırmıştır. Günümüzde artık otopark, eğlence ve dinlenme yerleri, parklar, spor sahaları ve hatta konutlarda yeraltında yapılmaktadır. Tüneller, kullanım amaçlarına göre maddeler halinde aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır.

- Madencilik amaçlı açılan tüneller
- Ulaşım amaçlı açılan tüneller
- Karayolu tünelleri, - Demiryolu tünelleri, - Yayılar için geçiş tünelleri, - Denizcilik amaçlı açılan tüneller, • Askeri amaçlı açılan tüneller,
- Yeraltı boşluklarına ulaşmak için açılan tüneller (hidroelektrik santral, türbin vb.)
- Sığınak amaçlı kullanılan tüneller
- Haberleşme, nakil hatları, gaz nakilleri vb. amaçlar için açılan tüneller [7].

Bu çalışmada, 2023 Kahramanmaraş depreminde etkilenen iki tünelin özellikleri ve oluşan hasar şekli incelenmiştir. Gelecekte oluşacak bir deprem sonrası ulaşım tünellerinin hasar görmemesi için püskürtme betondan ve fiber takviyesinin öneminden bahsedilmiştir. Fiber takviyeli ve takviyesiz betonların arasındaki farklar laboratuvar çalışmalarından faydalanılarak tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmaya konu olan Kahramanmaraş depremi bölgesinde çok sayıda tünel bulunmaktadır. 2020 yılında açılan Kahramanmaraş-Göksun kara yolunda "Edebiyat Yolu" ismi verilen düzargahta 11 çift tüp tünel bulunmaktadır (Şekil 2).

Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Karadeniz'i birbirine bağlayan güzergah üzerinde yer alan tünel ve viyadüklere Türkiye'nin kültür ve sanat hayatına eşsiz katkılarda bulunan Cahit Zarifoğlu, Erdem Bayazıt, Rasim Özdenören, Nuri Pakdil, Akif İnan,

Alaeddin Özdenören, Ali Kutlay ile Aşık Mahsuni Şerif, Hayati Vasfi Taşyürek, Abdurrahim Karakoç, Bahattin Karakoç, Sezai Karakoç ve Necip Fazıl Kısakürek'in isimlerinin verildiği tünel ve viyadükler bulunmaktadır. Toplam 64,1 kilometre uzunluğundaki yol, depremlerde arama kurtarma ekipleri ile yardımların bölgeye ulaştırılmasında önemli rol üstlenmiştir. Depremlerin etkilendiği 11 ilde çok sayıda tünel vardır. Bunların içerisinde çökme ve moloz düşmelerinin yaşandığı Erkenek ve Aşık Mahsuni Şerif Tüneli olmak üzere 2 önemli tünel bulunmaktadır.



Şekil 2. Kahramanmaraş-Göksun kara yolunda bulunan "Edebiyat Yolu" tünelleri

2.1. Depremden Etkilenen Tüneller ve Özellikleri

Depremde ulaşım sıkıntıları yaşanmasına ve yardımın bölgeye geç ulaşmasına neden olan Erkenek ve Aşık Mahsuni Şerif tünellerinin de göçükler ve kırılmalar meydana gelişir.

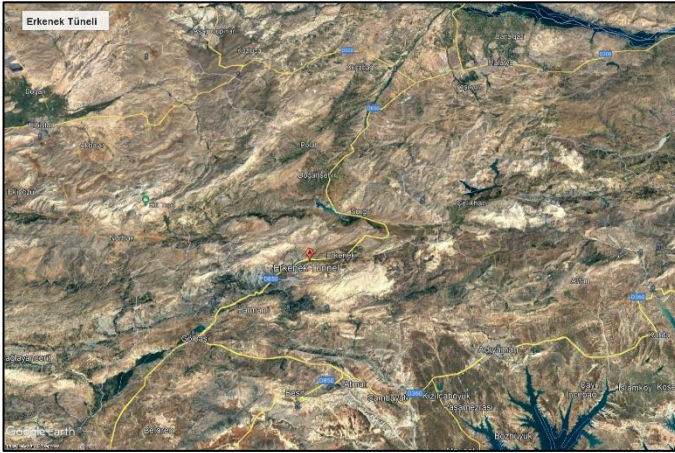
Aşık mahsuni tüneli

Kahramanmaraş'ı Göksun yolundan Kayseri'ye bağlayan güzergâh yolunda bulunmaktadır. Uzunluğu 2881 km olan tünel edebiyat yolunun 64,1. Km' resin de yer almaktadır.

Erkenek tüneli

Malatya-Gölbaşı yolu üzerinde Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz'i güneye bağlayan Erkenek tüneli 1.816 metrelik çift tüpten oluşmaktadır. Erkenek tüneli 28 Mayıs 2017 tarihinde hizmete açılmıştır. Erkenek Tüneli'nin bağlantı yollarıyla toplam uzunluğu 19 bin 440 metreye ulaşmaktadır. Erkenek Tüneli, kuzey-güney istikametinde D-850 karayolu güzergahında ağır taşıt trafiğine hizmet eden dağlık, engebeli ve kış şartlarının ağır olduğu Malatya'nın

Karanlıkdere geçişi mevkiinde inşa edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Erkenek tünelinin yer buldur haritası

3. TARTIŞMA

3.1. Depremin Tünelere verdiği zararlar ve Engelleme Yolları

Yapılan incelemeler sonucu Kahramanmaraş ta yaşanan deprem sonrasında iki büyük tünelde ulaşımı engelleyecek boyutta hasar oluşmuştur. Bunlardan biri Erkenek tüneli diğeri ise Aşık mahsuni tüneli dir.

Genel olarak tüneller içerisinde moloz düşmesi ve yarılmaların oluştuğu endişe verici seviyede yarılmaların olduğu görülmüştür.

Başka bir deprem sonrası bu hasarların oluşmaması ve hasarlı tünellerin onarımı için kullanılabilir en iyi yöntem lif takviyeli püskürtme beton yöntemidir.

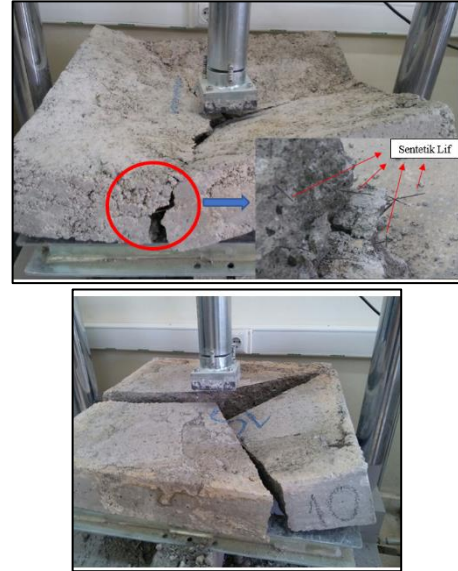
3.1.1. Püskürtme Beton

Agrega, çimento, su ve bazı kimyasal katkılarından oluşan karışımının boru hattı içerisinde basınçlı havayla taşındığı, püskürtme ile yerleşen beton olarak tanımlanır.

Püskürtme betonun pratik kullanımı ve kolay dayanım sağlaması nedeni ile günümüzde çok fazla kullanılmaktadır. Beton teknolojisinin geliştiği dünya savaşları sonrasında püskürtme beton çelik ve katkı malzemeleri ile birlikte kullanılmaya başlamıştır. Günümüzün popüler tahkimat elemanlarından biri olan püskürtme beton basınç dayanımı ve çekme dayanımı üzerine birçok araştırma yapılmıştır [15,16]. Yapılan araştırmalar sonucunda bazı mekanik (çekme dayanımı, darbe dayanımı ve tokluk vs.) özelliklerin artırılması için püskürtme beton içerisine lif malzemeleri katılmıştır.

Özellikle çekme dayanımını artırmak amacıyla 1900 yılların başında lif malzemeleri kullanılmaya başlamıştır [8]. Lifli beton, donatısız betondan farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip bir malzeme olduğu için sürekli katkı malzemesi ve lif çeşitleri denenmektedir. Günümüzde püskürtme beton içerisine değişik miktarlarda katılan lifler; çelik, plastik, cam ve sentetik malzemeden üretilmektedirler. Gelişen beton teknolojisi ile sentetik lif (polipropilen, polivinil alkol vb.) de püskürtme betonda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Kullanılan lifler gibi değişik malzemelerden oluşan farklı tip ve boyutlarda üretilmektedir.

Püskürtme betonun en önemli mekanik özelliklerinden birisi enerji yutabilme kapasitesidir. Tokluk olarak da adlandırılan bu özellik, yük-sehim eğrisinin altında kalan alan ile ifade edilir. Çatlak direnci, süneklik, darbe direnci gibi birçok malzeme özelliği enerji yutabilme kapasitesi ile ilişkilidir. Püskürtme betonda enerji absorpsiyonu genel olarak EFNARC Plaka Eğilme Deneyi ile ölçülmektedir. Bu deney standart bir boyutta (60x60x10 cm) oluşturulan deney numunesi yükleme düzeneğine dörtkenarından serbestçe oturtulur ve plak ortasındaki sehimin hızı 1 (mm/dak) olacak şekilde yüklenir (Şekil 4). Deneyde 25 mm'lik plak ortası sehime kadar yutulan enerji esas alınmaktadır.



Şekil 4. EFNARC Plaka eğilme deneyi lifli ve liffsiz beton

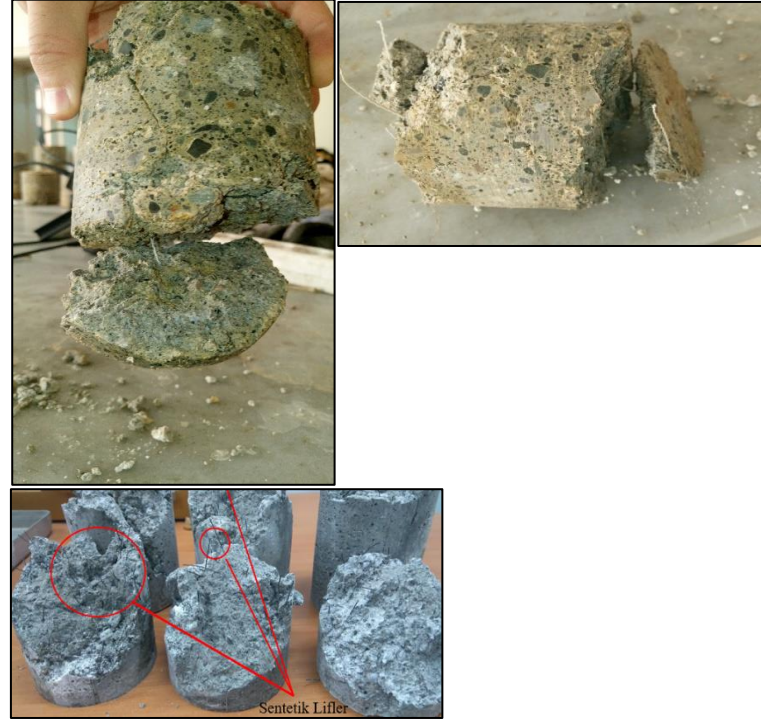
Plak testi sonucunda elde edilen veriler ile Kuvvet-Sehim grafiği oluşturulur. Oluşturulan bu grafiğin altında kalan alan hesaplaması yapılarak Enerji-Sehim grafiği oluşturularak betonun tokluğu hakkında bilgi elde edilmiş olur [8,12,15].

3.1.2. Lif Takviyeli Püskürtme Beton

Betonun basma ve eğilme dayanımını artırmaya yönelik çok eski dönemlerden bu güne kadar bir çok lif benzeri yapı kullanılmıştır. İlk insanların saman çöpü, keçi kılı ve insan saçı kullanarak tuğla ve harcı kuvvetlendirme çabaları, yapı malzemelerinin doğasını geliştirmeye yönelik girişimlerin oldukça eskilere gittiğini göstermektedir. Gerçekte, lifli betonlara esin kaynağı olan saman takviyeli kıl harcı (kerpiç) 4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin sürekli donatılarla kullanılması, ancak betonarme betonu kadar eskidir [5,7].

Yapılan çalışmalar sonucunda çimentolu sistemlerin içine konulan liflerin başlıca rolünün, betonda oluşan çatlakların matris içinde ilerlemelerini yavaşlatması olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, malzemenin maksimum çatlak deformasyonu lif içermeyen herhangi bir betona göre önemli bir artış gösterir. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok daha yavaştır. Dolayısı ile liflerin matristen ayrılması ve uzamaları nedeni ile emilen enerji lifli betonlarda oldukça fazladır [10-11]. (Şekil 5)

Tek eksenli basınç dayanımında da belirli bir artış görülür. Lifli betonların sünekliği ve tokluğunda lifsiz betonlara göre önemli artışlar sağlandığı da bilinmektedir. Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı ile lif miktarıdır [12-14].



Şekil 5. Betonda lif kullanımı

SONUÇ

Sonuç olarak, Kahramanmaraş ilinde meydana gelen depremler sonucu tünellerde meydana gelen hasarlar göz önüne alındığında, tünellerin depreme karşı dayanıklılığının artırılması büyük bir öneme sahiptir. Depremler tünellerin güvenliğini tehdit edebilir ve ulaşım altyapısında büyük sorunlara neden olabilir. Özellikle tünel içerisinde moloz düşmesi ve yarılmalar gibi hasarlar, acil müdahale ve ulaşımın kesintisiz devam etmesi için ciddi bir tehdit oluşturabilir.

Bu çalışmada, deprem sonrası tünellerde meydana gelen hasarların önlenmesi ve onarılması için püskürtme betonun önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Püskürtme beton, yeraltı yapılarının güçlendirilmesi ve depreme karşı daha dayanıklı hale getirilmesi için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu betona liflerin katılması, betonun dayanımını artırırken tokluk ve süneklik gibi mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyebilir.

Depremler ve yeraltı yapılarının dayanıklılığıyla ilgili bu çalışma, benzer coğrafyalarda karşılaşılan sorunlara dikkat çekmektedir. Yeraltı yapılarının güçlendirilmesi, ulaşımın sürdürülebilirliği için kritik bir adımdır. Ayrıca, bu tür çalışmalar, gelecekteki depremlere karşı daha iyi hazırlıklı olmamıza yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, tünellerin depreme karşı dayanıklılığının artırılması için püskürtme beton ve

lif takviyeli püskürtme beton gibi yöntemler, ulaşım altyapısının güvenliği için önemlidir. Bu tür önlemler, depremlerin yol açabileceği yıkıcı etkileri minimize etmeye yardımcı olabilir ve acil yardımın kesintisiz sağlanmasına katkı sağlayabilir. Gelecekteki araştırmaların, bu alandaki yöntemlerin daha da geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için odaklanması gerekecektir.

KAYNAKÇA

1. Coskun, İ. Ş. Ç. İ. Deprem Nedir Ve Nasıl Korunuruz, *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*,3(9), 959.
2. Dowding CH, Rozen A. Damage to rock tunnels from earthquake shaking. *J Geotech Engr Div, ASCE, GT2*, 175–191,1978
3. Sharma S, Judd WR Underground opening damage to underground facilities. *Eng Geol* 30:263–276,1991
4. Külekçi G, The Relation of the Method Used in Tunneling Operations with the Geological Structure Example of the Black Sea Coastal Road, *Journal of Civil Engineering and Construction* 11 (4), 255-263, 2022.
5. Külekçi G. Investigation of the utilization areas of construction and demolition wastes in the Black Sea region instead of aggregate and their areas of usage in the mining industry, *Karadeniz Technical Universty, Institute of science*, 2018,
6. Külekçi G, Comparison of field and laboratory result of fiber reinforced shotcrete application, *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 65 (2), 463-473, 2021
7. G Külekçi,2018, Effect of Different Synthetic Fiber Using Shotcrete on Ultrasonic Pulse Velocity, 4. UYAK
8. G Külekçi, AO Yılmaz 2018, Delme patlatma yöntemi ile karayolu tünel inşaatı, Gümüşhane çevre yolu örneği, *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 2018
9. <https://www.haberturk.com/kahramanmaras-haberleri/30194297-kahramanmaras-asik-mahsuni-serif-tunelinde-yer-yer-cokme-meydana-geldi> (Güncelleme: 06 Şubat 2023 Pazartesi, 19:00)
10. Kozak M., 2013, Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3.5, 26-35.
11. Külekçi G., 2018 “Püskürtme betonda farklı sentetik lif kullanımının ultrasonik dalga hızına etkisi,” 4. Uluslararası yeraltı kazıları sempozyumu , 493-499.
12. G Külekçi, M Çullu, 2021 The Investigation of Mechanical Properties of Polypropylene Fiber-Reinforced Composites Produced With the Use of Alternative Wastes, *Journal of Polytechnic* 24 (3), 1171-1180
13. G Külekçi, 2019, Energy Absorption Measurement in Shotcrete by EFNARC Plaque Deflection Experiment, *ICADET2019*
14. G Külekçi, 2021, Tokluk İndeksi Ölçümünde Kullanılan, EFNARC ve Yuvarlak Plaka Eğilme Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2-2, 120-126
15. G Külekçi, M Çullu, 2019, The Effect of Polypropylene Fibers, Used in Different Proportions, on Paste Filling, 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 313-320
16. G Külekçi, A Kesimal, T Yılmaz, 2015, Investigation of shotcrete support in Gümüşhane mastra gold mine, 7. National Aggregate Symposium