

MANTAR KÖKLERİNİN ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF MUSHROOM ROOTS IN GROUND IMPROVEMENT

Yaşar MANAV¹, Eren NACAROĞLU², Bekir YAĞCIOĞLU³, Selçuk TORAK⁴

ÖZET

Zemin iyileştirme yöntemleri, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için çeşitli teknikler içermektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerine, iklim değişikliği, karbon salınımındaki artış gibi unsurlar nedeniyle her geçen gün ekolojik yöntemler eklenmektedir. Eğim stabilitesi sorunları, can ve mal kaybına yol açabilecek sıklıkla karşılaşılan problemlerdir. Bitki köklerini kullanarak doğal duvarlar oluşturmak, heyelanları önlemek ve eğim stabilitesini artırmak için etkili bir yöntem olabilir. Miselyumun (mantar kök yapıları) derin toprak güçlendirmesinde kullanımı yaygın olmasa da, yüzey topraklarında toprağı bir arada tutan bir yapı oluşturabilir. Literatürde, bunun erozyonu azaltabileceği ve zemin stabilitesini artırabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada, miselyumun zemin iyileştirmesinde kullanım potansiyeli incelenmiştir. Deneylerde birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasına göre kötü derecelendirilmiş kum (SP) kullanılmıştır. İlk olarak, temiz kumda kesme kutusu testleri yapılmıştır. Daha sonra, 20 mm ve 32 mm'lik miselyum içeren kürlenmiş numuneler üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyleri, miselyumun zeminde kohezyonu artırdığı ve bu nedenle yüzeysel kohezyonsuz zeminlerde şev stabilitesinin artırılması amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, miselyumun zemin iyileştirmede yenilikçi ve çevresel sürdürülebilirlik sağlayan bir yöntem olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelime: Miselyum, zemin iyileştirme, kesme kutusu

¹Öğr. Gör. Dr., Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, ymanav@pau.edu.tr,

²Doktor Öğretim Üyesi, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, enacaroglu@pau.edu.tr,

³Doktora Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, byagcioglu13@posta.pau.edu.tr

⁴Prof. Dr. Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, stoprak@gtu.edu.tr



ABSTRACT

Soil improvement methods include various techniques to improve the engineering properties of soils. Ecological methods are being added to soil improvement methods every day due to factors such as climate change and increase in carbon emissions. Slope stability problems are frequently encountered problems that can lead to loss of life and property. Creating natural walls using plant roots can be an effective method to prevent landslides and increase slope stability. Although the use of mycelium (fungal root structures) in deep soil reinforcement is not common, it can form a structure that holds the soil together in surface soils. It is stated in the literature that this can reduce erosion and increase soil stability. In this study, the potential use of mycelium in soil improvement was investigated. Poorly graded sand (SP) was used in the experiments according to the combined soil classification. First, shear box tests were performed on clean sand. Then, tests were performed on cured samples containing 20 mm and 32 mm mycelium. Shear box experiments revealed that mycelium increases cohesion in the soil and therefore can be used to increase slope stability in shallow cohesionless soils. The results suggest that mycelium can be used as an innovative and environmentally sustainable method for soil improvement.

Keywords: Mycelium, soil improvement, shear box test

1 GİRİŞ

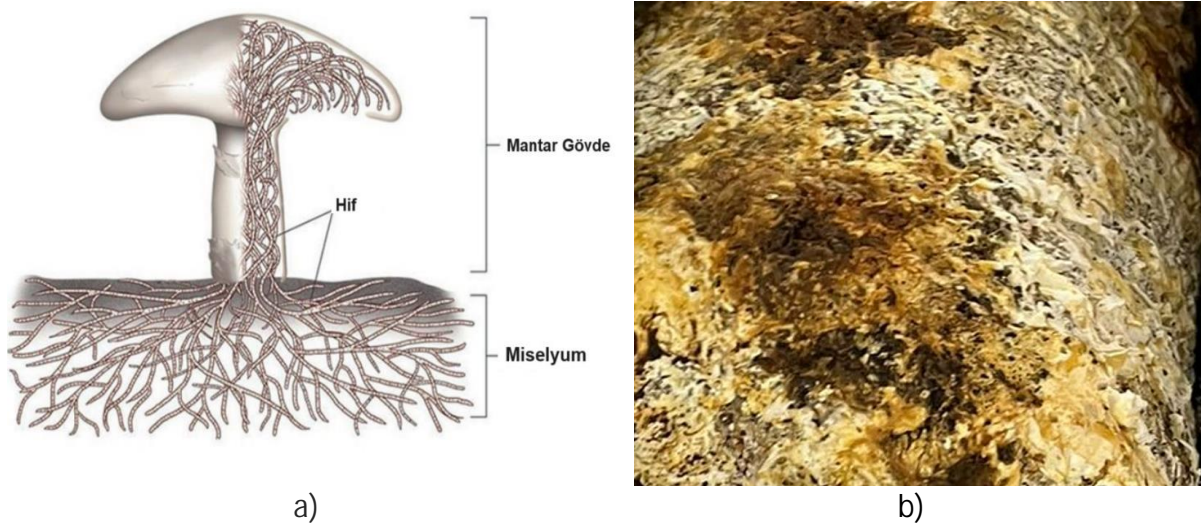
Zemin iyileştirme yöntemleri, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan çeşitli tekniklerdir. Bu yöntemler, zemin dayanımını artırmak, taşıma kapasitesini yükseltmek ve oturma gibi problemleri azaltmak için kullanılır. Kimyasal iyileştirme yöntemlerinde, zemin içerisine çeşitli kimyasal maddeler enjekte edilerek zemin yapısı değiştirilir. Örneğin, çimento enjeksiyonu zeminin dayanıklılığını artırmak için sıkça kullanılan kimyasal iyileştirme teknikleridir. Farklı kimyasallar kullanarak zemin iyileştirmeleri mümkündür. (Hamderi ve Gallagher, 2015; Manav vd., 2015;2019;) Çiğirtilme konusu olan biyo iyileştirme mikroorganizmaların zemin içerisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu yöntemle mikroorganizmalar, zemin içerisinde çimento benzeri bağlayıcı maddeler üreterek zeminin dayanımını artırır. Ayrıca, mekanik iyileştirme yöntemleri (örneğin, derin karıştırma veya dinamik kompaksiyon) ve fiziksel iyileştirme yöntemleri (örneğin, drenaj sistemleri) de sıkça tercih edilen teknikler arasındadır. Bu yöntemler, zemin özelliklerine ve mühendislik gereksinimlerine göre seçilir ve uygulanır. İnşaat mühendisliği ve geoteknik alanında şev stabilitesi kritik bir konudur. Evlerin stabilizasyonu, doğal afetler gibi çeşitli nedenlerle tehlikeye girebilir. Bu tür problemlerde zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmaktadır.

Son zamanlarda, geoteknik mühendisliği alanında zemin iyileştirme çalışmalarında çevre dostu tasarımlar gerçekleştirilmektedir. Bu gelişmelere örnek olarak, bitki örtüsü, biyopolimerler ve biyomineralizasyon (bio yararlılığı olan bakterilerin enjekte edilmesi), uygun ortamların oluşturularak kalsiyum çökellerini ile zemin iyileştirilmesi (MICP) yöntemi (Stocks-Fisher vd., 1999; DeJong vd., 2006 ; 2010) ve enzim kaynaklı karbonat çökeltme (EICP) yöntemi (Yasuhara vd., 2012) verilebilir. Son yıllarda çevresel sürdürülebilirlik ve doğayla uyumlu çözümler arayışı, miselyumların (mantar kökleri) şev iyileştirmesinde kullanımına olan ilgiyi artırmıştır. Bu alanda farklı özelliklerin değerlendirilmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (El Mountassir vd., 2021; Park vd., 2023; Bhurtel vd., 2024). El Mountassir vd., 2021 çalışmasında miselyum iyileştirmelerin toprak erozyonunu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Büyüme davranışı ve miselyum oluşumları farklı mantarlar için değişir ve bu nedenle erozyona karşı



sağlanan koruma da değişir; bazı türler toprak-hava arayüzünde yoğun miselyum oluştururken diğer türler toprağa daha derin nüfuz ederek derinlikle takviye sağlamayı tercih eder. Yapılan çalışmalar mantar bazlı teknolojilerin düşük maliyetli, zemin iyileştirme teknikleri olarak büyük potansiyelini göstermektedir.

Miselyum, mantarların büyüme evresindeki kök benzeri yapılarına verilen isimdir. Bu yapılar, organik materyalleri ayrıştırarak besinleri emen ince, dallı iplikçiklerden (hifler) oluşur. Miselyum, mantarların büyüme ve yayılma aşamasındaki ipliksi hücre ağıdır. Mantarın asıl bedenini oluşturan bu yapı, mikroskopik, uzun ve dallanmış hücrelerden meydana gelir. Miselyum, genellikle toprak altında bulunur. Mantarlarda görülen şapkalı yapılar, aslında sadece miselyumun üreme organıdır ve ana yapı yer altında bulunan bu ince ağ dokusudur. Miselyum, toprak partiküllerini birbirine bağlayarak stabil bir yapı oluşturur. Bu malzeme zemin iyileştirmelerde de kullanılabilir bir biomalzemedir. ekil 1a'da yeraltında miselyum oluşumu ve mantar gövdesi görülürken, ekil 1b'de deneylerde kullandığımız miselyum yapısı görülmektedir.



ekil 1. a) Yeraltı miselyum yapısı ve mantar gövdesi (Url-1), b) Kullandığımız miselyum bloğu

Miselyum, çevresindeki organik maddeleri çözerek besin maddelerini emen ve mantarın büyümesini sağlayan bir yapıdır. Bitkiler, ağaç kökleri, yapraklar gibi maddeleri ayrıştırarak karbon ve besin döngüsüne katkı sağlar. Miselyum, son derece dayanıklıdır ve toprak koşullarına adapte olabilir böylece çevresel mühendislik projelerinde kullanmak için cazip bir biomalzeme haline gelmiştir. Miselyum, toprak parçacıklarını birbirine bağlayarak stabilizasyon sağlar ve şev stabilizasyonu gibi mühendislik uygulamalarında büyük önem taşır. Uygun koşullarda bu kök yapılar çok hızlı büyüyebilir ve geniş alanlara yayılabilir. Bu da onu biyolojik yapılar oluşturmak için kullanılabilir hale getirir.

Şev stabilizasyonunda kullanımı önerilen miselyumlar, biomühendislikte yeni ve çevre dostu çözümler sunmaktadır. Farklı uygulama yöntemleri ile şev iyileştirmelerinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Örneğin miselyum matları, şev yüzeyine yerleştirilen ince tabakalar olarak, toprağı bir arada tutarak erozyonu önler ve bitki köklerinin yerleşimini kolaylaştırır. Miselyumlar özellikle yüzey stabilizasyonu gerektiren alanlarda oldukça etkili olabilir. Bir diğer

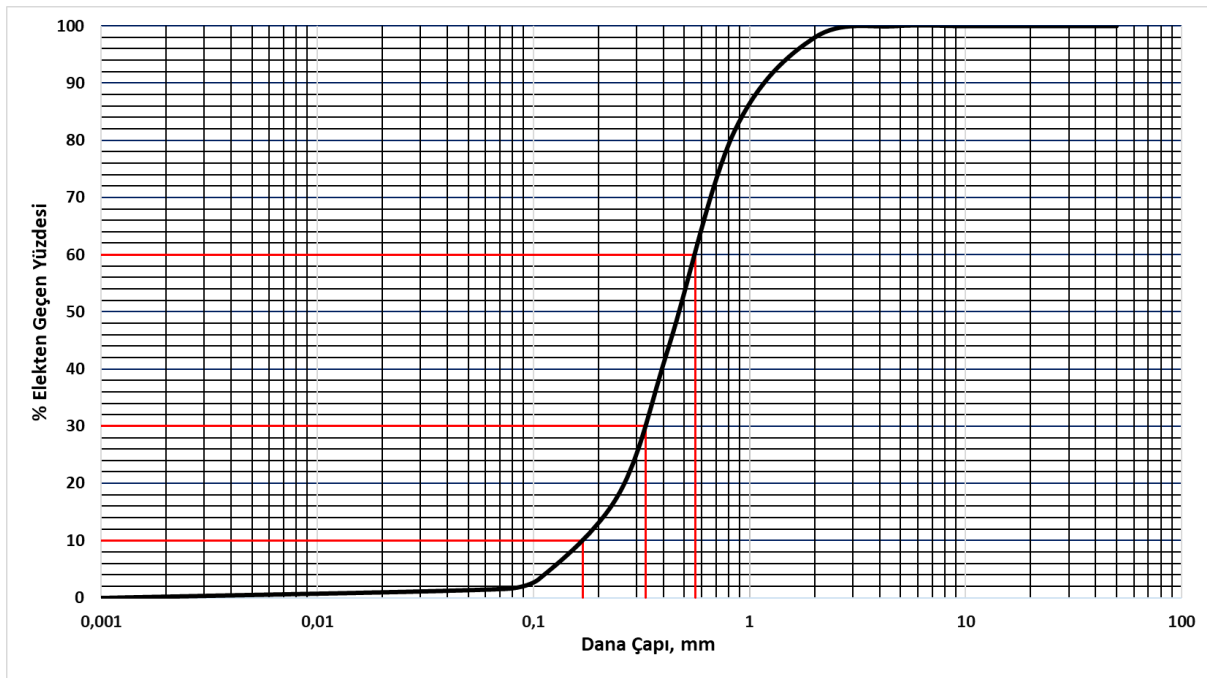


uygulama yöntemi ise, miselyumun toprakla karıştırılarak kullanılmasıdır. Miselyumun toprağa nüfuz etmesini sağlar ve toprağın iç bağlayıcı gücünü artırarak uzun vadeli bir stabilizasyon sunar. Toprak yapısını güçlendiren bu biyomalzeme, özellikle erozyon riski yüksek bölgelerde uzun ömürlü bir koruma sağlar. Daha büyük ve daha dayanıklı stabilizasyon uygulamaları için miselyum blokları kullanılabilir. Endüstriyel işleminden geçirilmesi sonucu elde edilen bloklar, şev stabilizasyonu gerektiren bölgelerde yüksek dayanıklılık ve stabilite sağlar. Özellikle büyük yapısal projelerde bu biyolojik malzemeler, doğal ve sürdürülebilir çözümler olarak öne çıkar.

Bu çalışmada, miselyumun zemin iyileştirmedeki etkileri kesme kutusu deneyleri ile incelenmiştir. Buda miselyumun, çevre dostu ve etkili bir şev iyileştirme yöntemi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

2.DENEYLER

ekil 2’de elek analizi görülen zeminin, D_{10} , D_{30} , D_{60} değerleri sırasıyla 0.17 mm, 0.33 mm, 0.56 mm’dir. C_u değeri 3.29 C_c değeri 0.35 olduğu için, bu zemin dane dağılımı açısından kötü derecelenmiş ve birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasına göre kötü derecelendirilmiş kum (SP) olarak belirlenmiştir.



ekil 2. Deneyde kullanılan malzemenin elek analizi sonucu

ekil 1 b’de görülen miselyum bloğundan 20 mm ve 32 mm’lik parçalar alınarak üç farklı deney seti hazırlanmıştır. Temiz kum deneyler numuneleri, 20 mm iyileştirilmiş deney numuneleri ve 32 mm’lik iyileştirilmiş deney numuneleri hazırlanmıştır (ekil 3a). Deneyler yapılırken su muhtevası %18 olarak sabit tutulmuştur. ekil 3b’de deney sonrası numune örneği görülmektedir.

Kesme kutusunda 54, 108 ve 216 kPa normal gerilme altında ölçülen kesme yer değiştirme (mm)-kesme gerilmesi (kPa) değerleri ekil 4, ekil 6 ve ekil 8’de verilmiştir. Bu sonuçlar zeminin içsel sürtünme açısının azaldığını fakat buna karşılık kohezyon değerlerinin arttığını



göstermektedir. Özellikle yüzeysel zemin koşullarında normal gerilmenin zemin örtü yükünün inceliğine bağlı olarak sınırlı olması sebebiyle içsel sürtünme açısından daha kritik öneme sahip kohezyon zeminin mukavemetini artırıcı niteliktedir. Salifu ve Mountassir, 2019'da kesme gerilmesi artışı gözlenmemiş, tersine iyileştirilmiş numunelerde azalma gözlemlenmiştir. Kesme yer değiştirmesinde yapılan deney iyileştirmelerinin oranlarına göre farklı oranlarda iyileşmeler gözlemlenmiştir. Yapmış olduğumuz çalışma sonuçları, Salifu ve Mountassir, 2019 çalışması sonuçları ile uyumluluk göstermektedir.



a)

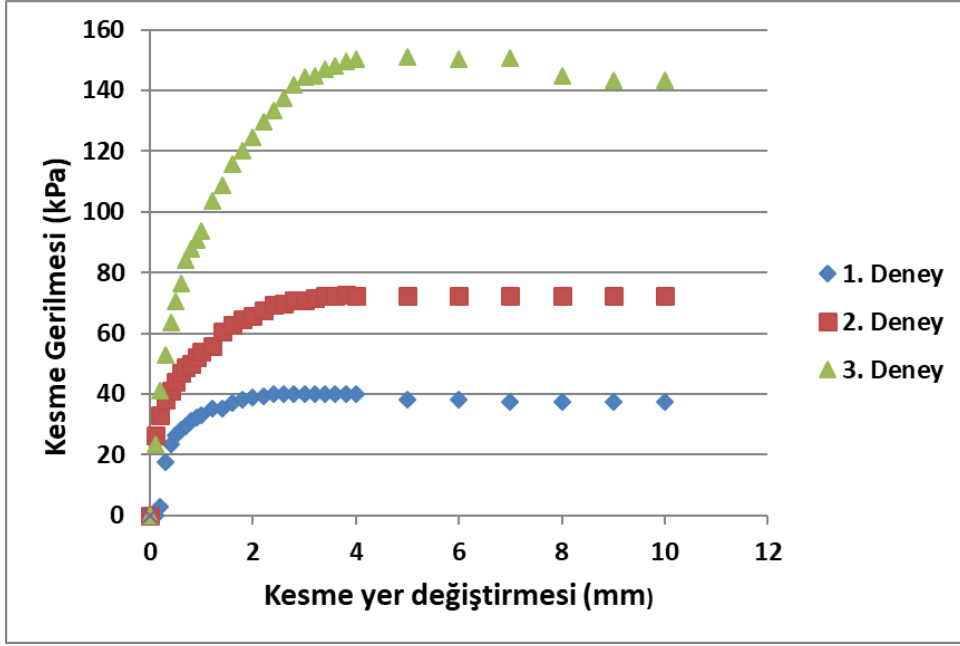


b)

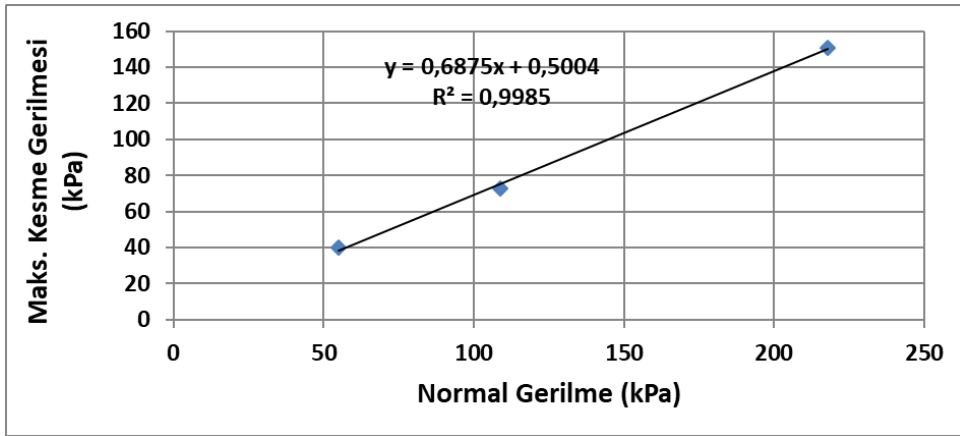
ekil 3. a) iyileştirilmiş Numune Hazırlığı b) Deney Sonrası Görüntü

Bu çalışmada, zemin iyileştirme işleminin içsel sürtünme açısı ve kohezyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Temiz numunede içsel sürtünme açısı $34,50^\circ$ ve kohezyon $0,5$ kPa olarak bulunurken (ekil 5), iyileştirme seviyesine bağlı olarak içsel sürtünme açısı azalmakta ve kohezyon artmaktadır. Orta düzeyde iyileştirilmiş zeminde içsel sürtünme açısı $32,61^\circ$ ye düşerken, kohezyon $7,41$ kPa'ya yükselmiştir (ekil 7). İyi iyileştirilmiş zeminde ise içsel sürtünme açısı $29,68^\circ$ ye kadar düşmüş, ancak kohezyon $13,24$ kPa'ya ulaşmıştır. Bu bulgular, zemin iyileştirme işleminin zeminin normal gerilmeye bağlı kayma direncini azaltırken, kohezyonel bağlarını güçlendirdiğini göstermektedir (ekil 9).



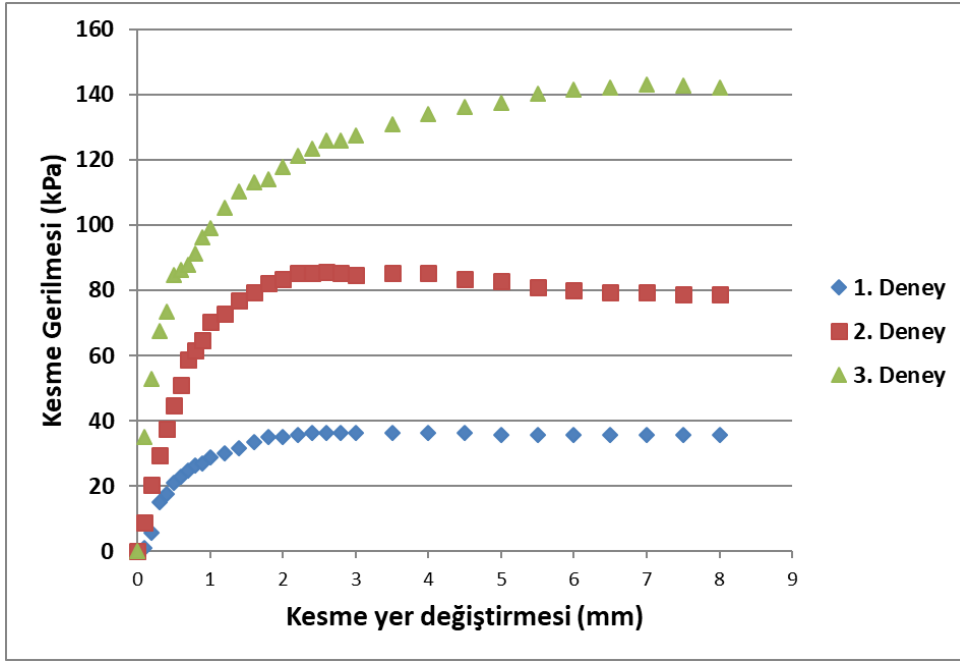


ekil 4. Temiz kum numunesi kesme yerdeğiştirme (mm)-kesme gerilmesi (kPa) grafiği

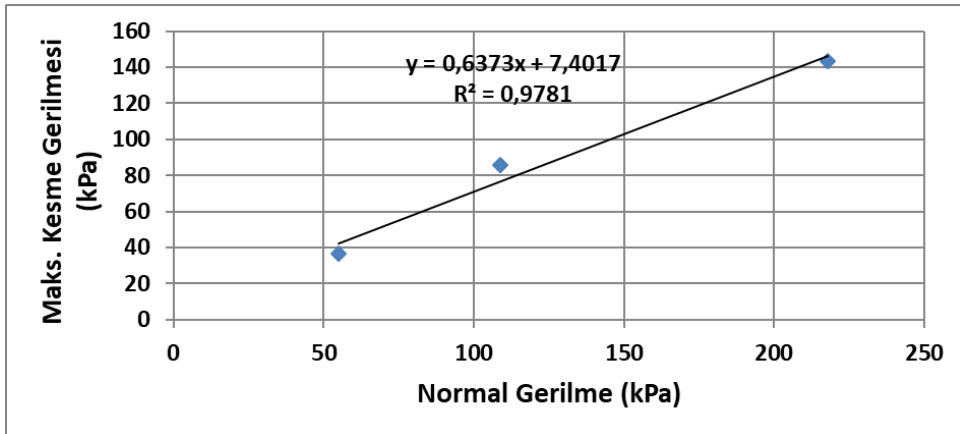


ekil 5. Temiz Kum numunedeki normal gerilme (kPa) ile maksimum kesme gerilmesi (kPa) arasındaki ilişki



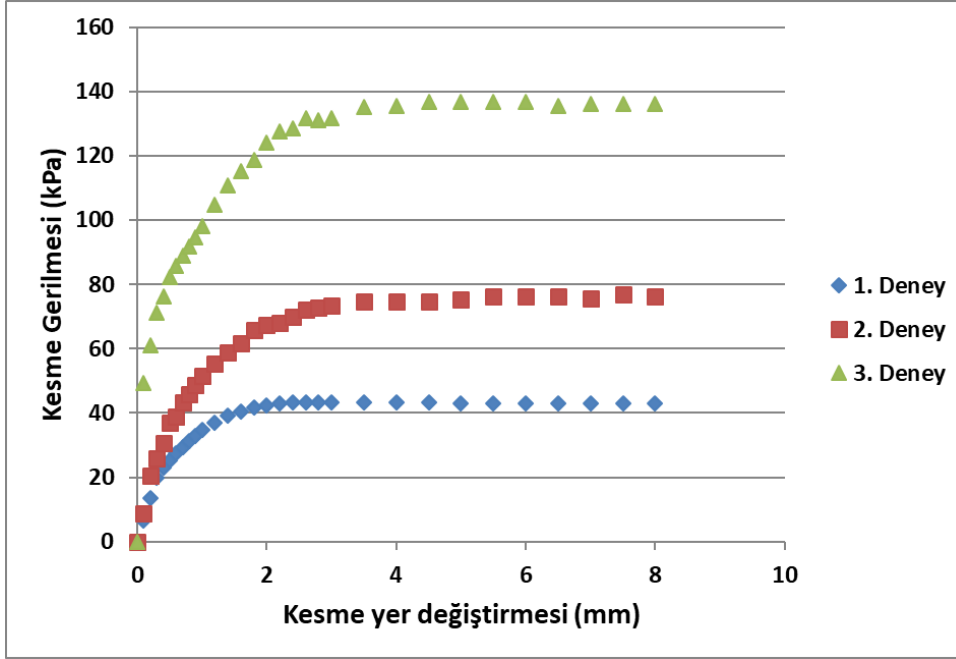


ekil 6. 20 mm iyileştirilmiş numunedeki kesme yerdeğiştirme (mm)-kesme gerilmesi (kPa) grafiği

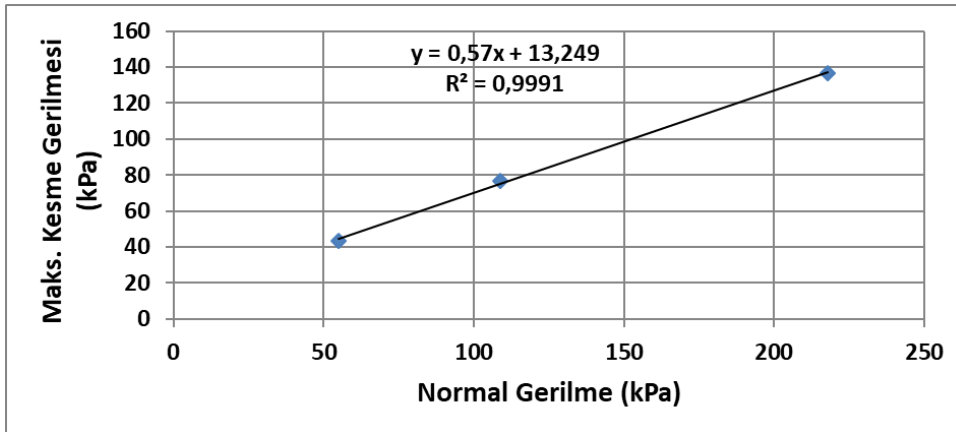


ekil 7. 20 mm iyileştirilmiş numunedeki normal gerilme (kPa) ile maksimum kesme gerilmesi (kPa) arasındaki ilişki





ekil 8. 32 mm iyileştirilmiş numunedeki kesme yerdeğiştirme (mm)-kesme gerilmesi (kPa) grafiği



ekil 9. 32 mm iyileştirilmiş numunedeki normal gerilme (kPa) ile maksimum kesme gerilmesi (kPa) arasındaki ilişki

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mantar köklerinin (miselyum) zemin iyileştirme süreçlerindeki etkinliği incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, miselyumun zeminin mekanik özelliklerini etkileyerek içsel sürtünme açısını azaltırken kohezyonu artırdığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, miselyumun zeminlerin taşıma kapasitelerinin artırılması, zemin deformasyonlarının kontrol altına alınması ve özellikle şev stabilizasyonu gibi uygulamalarda etkin bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

ev stabilizasyonu, geoteknik mühendisliğinde kritik bir öneme sahiptir ve doğal süreçlerle sürdürülebilir zmler sunulması gerekmektedir.  şmamızda elde edilen bulgular, miselyumun biyolojik zemin iyileştirmede potansiyel bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini ve bu yöntemin evre dostu bir zemin stabilizasyonu sağlayabileceğini



işaret etmektedir. Özellikle e ğimli arazilerde, miselyumun kayma riskini azaltarak şevlerin stabil hale getirilmesinde kullanılabileceği düşünölmektedir.

Ancak, miselyumun etkinliği, zemin türü, su içeriği ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebileceğinden, geniş çaplı uygulamalardan önce daha fazla araştırma ve saha deneyi yapılması gerekmektedir.  işmanın bulguları, doğal kaynaklara dayalı zemin iyileştirme yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir ve gelecekte sürdürülebilir inşaat uygulamalarında önemli bir yer edinebilir.

KAYNAKLAR

- Bhurtel, A., Salifu, E., Siddiqua, S. (2024), "Composite biomediated engineering approaches for improving problematic soils: Potentials and Opportunities". Science of The Total Environment, 169808.
- DeJong, J. T., Fritzges, M. B., Nüsslein, K. (2006). "Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear". Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 132(11), 1381-1392.
- DeJong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, B. C., Nelson, D. C. (2010). "Bio-mediated soil improvement". Ecological engineering, 36(2), 197-210.
- El Mountassir, G., Schellenger, A., Salifu, E., Lunn, R. J. (2021). Engineering fungal networks for ground improvement, Proceedings of the RM4L2020 International Conference.
- Hamderi, M., ve Gallagher, P. M. (2015). "Pilot-scale modeling of colloidal silica delivery to liquefiable sands". Soils and Foundations, 55(1), 143-153.
- Park, J. S., Lin, H., Moe, W. M., Salifu, E. (2023). "Hydraulic properties of sands treated with fungal mycelium of Trichoderma virens". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149(11), 04023093.
- Salifu, E., El Mountassir, G. (2019). "Preliminary observations of the shear behaviour of fungal treated soil". E3S Web of Conferences 92, 11017, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199211017>, 25 June.
- Stocks-Fischer, S., Galinat, J. K., Bang, S. S. (1999). "Microbiological precipitation of CaCO₃". Soil Biology and Biochemistry, 31(11), 1563-1571. URL1-<https://www.stowa.nl/publicaties/biomass-mycelium-composite-exploration-cellulose-and-weed-residues>.
- Manav, Y., Toprak, S., Karakaplan, E., Manav R., (2015). "A Laboratory Study On Soil Improvement Against Liquefaction: Colloidal Silica Injection", 5th International Earthquake Symposium, 10-12 June, Kocaeli.
- Manav, Y., Toprak, S., Karakaplan, E., Inel, M. (2019). "Soil improvement to counter liquefaction using colloidal silica grout injection". Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), 2019, 20 (1), 135-145,
- Manav, Y. (2019). "Sıvılaşma şiddet parametreleri ile bina deprem performansı ilişkilerinin değerlendirilmesi ve deneysel zemin iyileştirme uygulaması". Doktora tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.



Yasuhara, H., Neupane, D., Hayashi, K., Okamura, M. (2012). "Experiments and predictions of physical properties of sand cemented by enzymatically-induced carbonate precipitation". Soils and Foundations, 52(3), 539-549.

SEMBOL LİSTESİ

Semb	Aç klama	Semb	Aç klama
D ₁₀	Zeminin %10'unun geçtiği dane çapı	C _u	Üniformluk katsayısı
D ₃₀	Zeminin %30'unun geçtiği dane çapı	C _c	Eğrilik katsayısı
D ₆₀	Zeminin %60'unun geçtiği dane çapı		

