

POLİAKRİLAT KULLANIMININ SIVILAŞABİLİR KUMLU ZEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF POLYACRYLATE USAGE ON MECHANICAL PROPERTIES OF LIQUEFIABLE SANDY SOIL

Nesil ÖZBAKAN¹, Burak EVİRGEN²

ÖZET

İnce kumlu veya siltli zeminlerin sıvılaşmaya karşı hassas olmasının arkasında yatan en temel sebep, bu tip zeminlerdeki kohezyon seviyesindeki yetersizliktir. Sıvılaşma sürecinde, daneler arasındaki temasın azalması sonucunda içsel sürtünme açısı ve kilitlenme etkisinden kaynaklanan zemin mukavemeti düşmektedir. Çalışma kapsamında bu sorunun çözümüne yönelik, su ile temas ettiğinde jel formuna dönüşen poliakrilat (SPA) kullanımının zemin taşıma kapasitesi ve kayma mukavemeti parametreleri açısından sağladığı iyileştirme seviyeleri değerlendirilmiştir. Kendi ağırlığının yaklaşık 100-200 katı kadar su emme potansiyeline sahip olan bu kimyasala, optimum seviyede çimento eklenerek her durum için yeterli miktarda su ile birlikte silis kumuna %5, %10, %15 ve %20 oranlarında karıştırıldıktan sonra serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri uygulanmıştır. Sıvılaşabilir silis kumuna eklenmesi gereken SPA jel oranı, kayma mukavemeti ve serbest basınç dayanımı açısından %10 ile %15 arasında olmalıdır. Bu katkı oranlarında katkısız numunelere kıyasla kohezyon değerinde ortalama 16 kPa artış gözlenirken, içsel sürtünme açısı ve serbest basınç mukavemeti değerlerinde sırasıyla %63 ve %7 oranlarında artış sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İçsel sürtünme açısı, kohezyon, kesme kutusu deneyi, serbest basınç dayanımı, sıvılaşma, zemin iyileştirme

ABSTRACT

The lack of cohesion level of fine sandy or silty soils, serve as the driving force behind the sensitivity against liquefaction. The shear strength of soil decreases that caused by internal friction angle and interlocking effect according to the reduction between the grains during liquefaction process. In this study, the improvement levels provided by the utility of polyacrylate (SPA), which turns into a gel form when contact with water, were evaluated in terms of soil bearing capacity and shear strength parameters, for the solution of mentioned problem. Unconfined compression tests and shear box tests were applied after addition of

¹ Araş. Gör., Eskişehir Teknik Üniversitesi, nesil_ozbakan@eskisehir.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, burakevirgen@eskisehir.edu.tr

this chemical, which has a water absorption capacity around 100-200 times its own weight, and optimum amount of cement mixture into the silica sand at the rates of 5%, 10%, 15% and 20% with a sufficient amount of water for each case. The amount of SPA gel additive should be taken between 10% and 15% for the liquefiable silica sand containing 5% bentonite in terms of shear strength and unconfined compressive strength. Within these additive rates, when compared to reference specimens the levels of increments were seen about 16 kPa for cohesion as well as 63% and 7% increment rates were achieved for internal friction angle and unconfined compressive strength, respectively.

Keywords: *Internal friction angle, cohesion, shear box test, unconfined compressive strength, liquefaction, soil improvement*

1. GİRİŞ

Özaydın (2007) sıvılaşmayı “Granüler bir zeminin artan boşluk suyu basıncı ve azalan efektif gerilme sonucu katı durumdan sıvı duruma dönüşmesi” olarak tanımlamaktadır. Granüler zeminlerin sıvılaşmaya karşı hassas olmasının nedeni kohezyon seviyelerindeki yetersizliğe bağlı olarak sıvılaşma sürecinde daneler arasındaki temasın azalması ve boşluk suyu basıncının artmasıdır. Literatür çalışmaları sıvılaştırılabilir kumlu zeminin doygunluk derecesindeki küçük bir azalmanın bile sıvılaşma direncini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır (Yegian vd., 2007). Bu yüzden, sıvılaştırılabilir zemin yapısı içerisindeki su fazını jel forma dönüştürerek viskozite ve şişme basıncı artışıyla birlikte sıvılaşma sorununun çözümüne yönelik süper emici bir polimer olan sodyum poliakrilat (SPA) kullanımı önerilmektedir (Özbakan, 2021; Güler, 2022). SPA kendi kütlesinin 100-200 katı kadar suyu bünyesinde tutarak jel formuna dönüşür. Su ile etkileşime girdiğinde, su SPA molekülleri tarafından emilip tutulduğu için SPA genişleyerek son derece güçlü bir sünger gibi davranır (Özbakan, 2021). Yüksek su emme kapasitesi nedeniyle hijyen ürünleri üretimi (Buchholz, 1996) ve tarımsal uygulamalar (Akhter vd., 2004) gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe ise daha çok betonun dahili kürlenmesinde (Urgessa vd., 2018) ve çatlakların onarılmasında (Lee vd., 2016) tercih edilmektedir. Ancak zemin iyileştirme çalışmalarında kullanımına ise pek rastlanmamaktadır.

Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyelini azaltan söz konusu kimyasalın zeminlerin mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla eser miktarda çimento ile birlikte 4 farklı oranda kumlu zemine eklenmesi durumunda zemin taşıma kapasitesi ve kayma mukavemet parametreleri açısından hangi seviyede bir iyileştirme sağladığı incelenmiştir.

2. MALZEME ÖZELLİKLERİ

2.1. Sodyum Poliakrilat

Sodyum poliakrilat (SPA) kendi ağırlığının yaklaşık 100-200 katı kadar su emebilen ve su ile temas ettiğinde jel formuna dönüşen süper emici bir polimerdir. Suyu emdiğinde yüksek moleküler ağırlığı nedeniyle çözünmek yerine jel formunda katılaşır (Uyanık ve Baykal 2016). Partikül boyutunun azalması ile yüzey alanındaki artışa bağlı olarak SPA’nın su emme kapasitesi artmaktadır (Sohn vd., 2002). Zohuriaan ve Kabiri (2008) tarafından önerilen çay poşeti yöntemiyle yapılan deneylerde sodyum poliakrilatın su emme kapasitesi 125ml/gr olarak belirlenmiştir (Özbakan ve Evirgen, 2022a). Sodyum poliakrilat yük altında emdiği

suyun bir miktarını geri saldığı için (Lejcuś vd., 2018; Misiewicz vd., 2019) eser miktarda çimento ile karıştırılarak kullanılmıştır. Farklı oranlarda çimento içeren SPA ile yapılan deneylerde viskozite ve su emme kapasitesi açısından optimum çimento oranı kuru SPA ağırlığının %25'i olarak belirlenmiştir. 1 gr SPA'nın 125 ml suyu emerek jel hale dönüştüğü düşünöldüğünde karışımın içindeki çimento oranı sadece 0,25 gr olmaktadır.

2.2. Silis Kumu

Deneylerde kötü derecelenmiş, sıvılaşıabilir silis kumu kullanılmıştır. Kullanılan silis kumunun özgül ağırlık değeri, ortalama dane boyu ve ilgili diğeri parametreler Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Silis kumunun özellikleri

Parametre	Değer
Özgöl ağırlık, G_s	2,46
Ortalama dane boyutu, D_{50} (mm)	0,57
Tekdüzelik katsayısı, C_u	1,88
Derecelenme katsayısı, C_c	1,25
Maksimum kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmax} (kN/m ³)	16,77
Minimum kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmin} (kN/m ³)	14,22

2.3. Sodyum Bentonit

Serbest basınç deneylerinde kum jel ile karıştırılıp kalıplanmış, ancak kalıplardan çıkarıldığı zaman numunelerin kendini tutamadığı görölmüştür. Bu sebeple numunelerin kendisini tutabilmesini sağlamak ve serbest basınç deneylerini gerçekleştirebilmek amacıyla kuma ağırlıkça %5 oranında sodyum bentonit kili katılmıştır. Kullanılan sodyum bentonitin özellikleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Sodyum bentonitin özellikleri

Parametre	Değer
Likit Limit, LL (%)	640,00
Plastik Limit, PL (%)	28,00
Plastisite İndisi, PI (%)	612,00
Maksimum kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmax} (kN/m ³)	10,99
Optimum Su muhtevası, ω_{opt} (%)	48,00
Özgöl Ağırlık, G_s	2,69
Serbest Basınç Mukavemeti, q_u (kg/cm ²)	1,87

3. DENEYLER

3.1. Kesme Kutusu Deneyleri

Sodyum poliakrilat, su ve optimum oranda çimento kullanılarak hazırlanan jel, sıvılaşıabilir silis kumuna ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 olmak üzere 4 farklı oranda ilave edilerek ASTM D3080M-11 standardına uygun kesme kutusu deneyleri yapılmış ve silis kumunun kayma direnci parametrelerinde meydana gelen değışim incelenmiştir (Şekil 1). Jel ilavesinin etkisini daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla aynı zamanda katkısız silis kumunda da kesme kutusu deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlar referans olarak kullanılmıştır. Her bir

numuneye 1 kg, 2 kg ve 3 kg olmak üzere 3 farklı düşey yükleme koşulunda toplam 15 adet kesme kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Kesme kutusu deneyi

3.2. Serbest Basınç Deneyleri

ASTM D2166 standardına uygun olarak gerçekleştirilen serbest basınç deneylerinde kalıptan çıkarılan numunelerin kendisini tutabilmesi için ağırlıkça %95 oranında silis kumu %5 oranında sodyum bentonitle karıştırılarak kullanılmıştır. Kesme kutusu deneylerinde olduğu gibi referans oluşturması için jel ilavesi olmadan yapılan üç deney ile 4 farklı jel oranının her biri için yapılan üç deney ile birlikte 15 deney gerçekleştirilmiştir. Numuneler istenilen oranlarda karıştırıldıktan sonra 7,00 cm çap ve 14,00 cm yükseklikteki silindir kalıplarda standart proktor deneyine eş enerji kullanılarak sıkıştırılıp ardından serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 2).



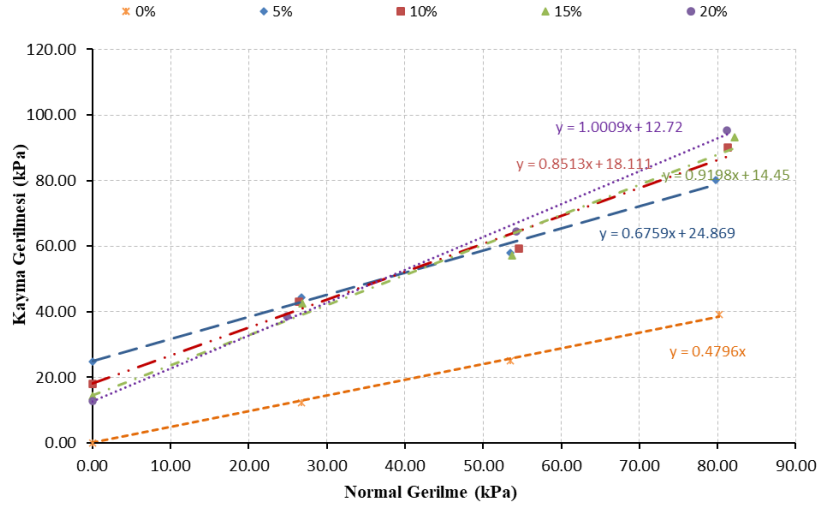
Şekil 2. Serbest basınç deneyi

4. DENEY SONUÇLARI

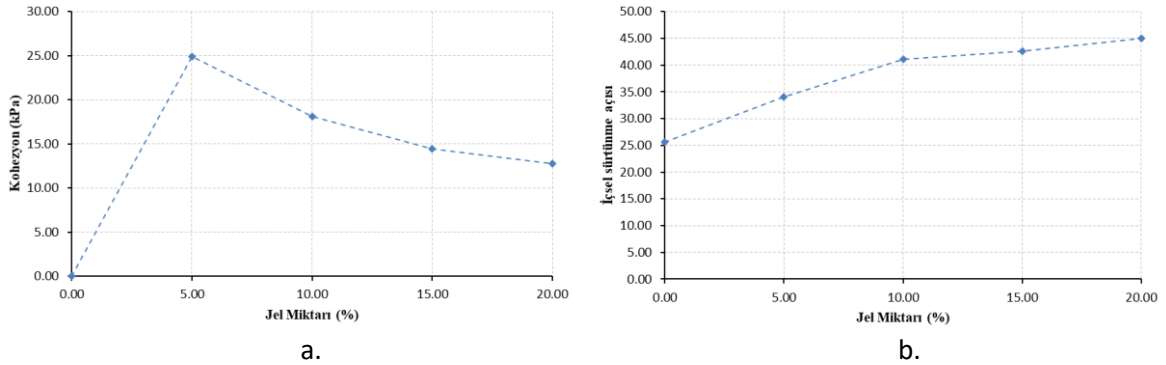
4.1. Kesme Kutusu Deneyleri

Yapılan kesme kutusu deneyleri sonucunda her bir karışım için kayma zarfları (Şekil 3) çizilerek içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri belirlenmiştir. Şekil 4'te numunelerin jel içeriğine kıyasla kayma direnci parametrelerindeki değişim yer almaktadır. %5'ten %20'ye değişen oranlarda jel içeren numunelerin deney sonuçları jel içermeyen referans silis kumunun sonuçları ile karşılaştırılarak parametrelerdeki değişimler değerlendirilmiştir. Kohezyon değerlerindeki değişimi gösteren grafik incelendiğinde (Şekil 4a) beklenenin aksine jel içeriğindeki artışa bağlı olarak kohezyon değerinin %5 katkı oranında pik değerine ulaşmış, sonrasında azalan bir eğilim sergilediği görülmektedir. Bununla beraber tüm jel

içeriklerinde referans duruma göre kohezyon seviyelerinde artış meydana gelmektedir. Kaymaya karşı direncin bir bileşeni olan içsel sürtünme açısındaki değişim (Şekil 4b) dikkate alındığında ise jel içeriğindeki artışa göre içsel sürtünme açısı devamlı artış eğilimindedir. Diğer jel içeriklerine oranla en düşük kohezyon değerine sahip %20 jel içeriğinde, içsel sürtünme açısı katkısız duruma göre 1,76 kata ulaşan bir artış sergilemektedir.



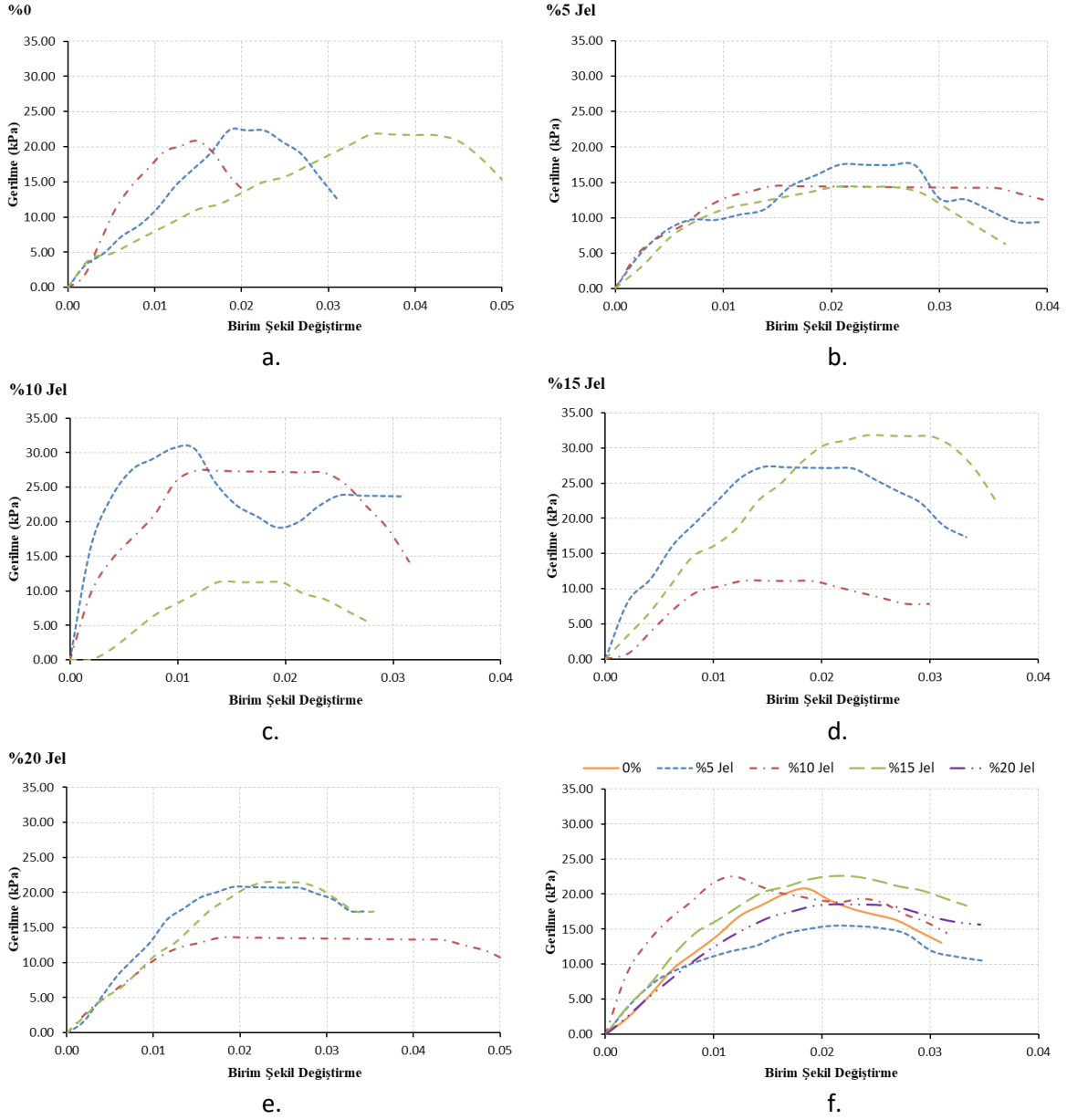
Şekil 3. Kesme kutusu deneyinden elde edilen kayma zarfları (Özbakan ve Evirgen, 2022b)



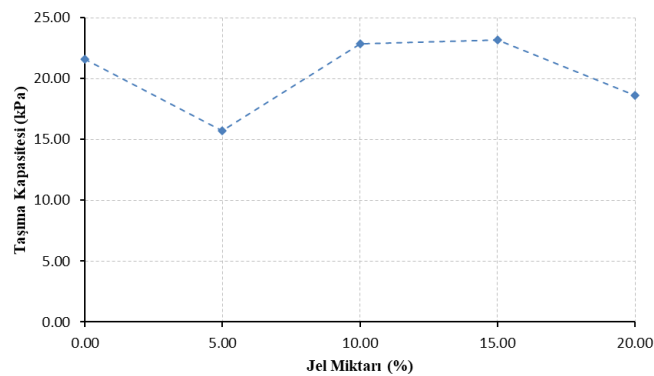
Şekil 4. Kayma parametreleri değişimleri, a. Kohezyon ve b. İçsel sürtünme açısı

4.2. Serbest Basınç Deneyleri

Serbest basınç deneyleri sonucunda jel içermeyen ağırlıkça %95 oranında silis kumu ve %5 oranında sodyum bentonitli numuneler ile 4 farklı oranda jel içeren numunelerin gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri çizilerek, ortalama eğriler sunulmuştur (Şekil 5). Ayrıca serbest basınç mukavemetine karşılık gelen taşıma kapasitesi değerleri Şekil 6a'da verilmişti. Jel içermeyen referans numunelerinin taşıma kapasitesi değeri 21,58 kPa'dır. Taşıma kapasitesi %5 ve %20 jel karışım içeren numunelerde referansa kıyasla %27,27 ve %13,64 oranında azalırken, %10 ve %15 jel içeren numunelerde sırasıyla %6,06 ve %7,58 mertebelerinde artış gözlenmiştir. %15 jel içerikli numunede 23.21 kPa değeriyle en yüksek seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 5. Gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri; a. Jel ilavesiz, b. %5 katkılı, c. %10 katkılı, d. %15 katkılı, e. %20 katkılı ve f. Ortalama değer eğrileri (Özbakan ve Evirgen, 2022b)



Şekil 6. Serbest basınç deneyinden elde edilen taşıma kapasitesi değişimleri

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, sıvılaştırılabilir nitelikteki kötü derecelenmiş silis kumuna sodyum poliakrilat (SPA) eklenmesiyle birlikte kumun mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu kapsamda, silis kumuna %5, %10, %15 ve %20 oranlarında SPA – çimento jeli eklenerek yapılan serbest basınç ve kesme kutusu deneylerine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kesme kutusundan elde edilen kayma zarfları incelendiği takdirde jel içeren tüm numunelerde göçmenin gerçekleşmesi için gereken kayma gerilmesi bileşenlerinin arttığı görülmüştür.
- Kohezyon içermeyen ve içsel sürtünme açısı $25,62^\circ$ olan silis kumunda jel içeriği artışına bağlı 12,72 kPa ve 24,87 kPa arasında değişen kohezyon değerleri gözlenmiştir. En yüksek kohezyon değerine %5 jel içeriğinde ulaşılmaktadır.
- Jel ilavesi sonrasında yapılan kesme kutusu deneylerinde içsel sürtünme açısının jel içeriğindeki artışa bağlı olarak referansa kıyasla %32,90 ile %75,76 arasında arttığı görülmüştür. %20 jel içeriğinde ise içsel sürtünme açısı $45,03^\circ$ değeri ile en yüksek değere ulaşmıştır. Bu değer jelsiz durumdaki içsel sürtünme açısının 1,76 katıdır.
- Serbest basınç dayanımı açısından referansa göre %5 ve %20 jel oranlarında taşıma kapasitesi değerleri azalırken, %10 ve %15 jel oranlarında artmaktadır. Bu artış %10 jel içeriğinde %6,06 mertebesinde iken %15 jel içeriğinde %7,58 seviyesine kadar ulaşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından kabul edilen 219M397 numaralı 1001 projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K.A., Mardan, A., Ahmad, M. and Iqbal, M.M. (2004), “Effects of Hydrogel Amendment on Water Storage of Sandy Loam and Loam Soils and Seedling Growth of Barley, Wheat and Chickpea”, *Plant Soil and Environment*, Vol 50, 463-469.
- ASTM D2166/D2166M-16, (2016), “Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil”, West Conshohocken, ASTM International.
- ASTM D3080/D3080M-11, (2020), “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions”, West Conshohocken, ASTM International.
- Buchholz, F.L. (1996), “Superabsorbent Polymers: An Idea Whose Time Has Come”, *Journal of Chemical Education*, Vol 73, 512-515.
- Güler, Ö.F. (2022), “Sıvılaştırılabilir Probleminin Önlenmesine Yönelik Sodyum Poliakrilat Uygulamalarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Lee, H.X.D., Wong, H.S. and Buenfeld N.R. (2016), “Self-Sealing of Cracks in Concrete Using Superabsorbent Polymers”, *Cement and Concrete Research*, Vol 79, 194-208.
- Lejcuś, K., Śpitalniak, M. and Dąbrowska, J. (2018), “Swelling Behaviour of Superabsorbent Polymers for Soil Amendment Under Different Loads”, *Polymers*, Vol 10, 271.

- Misiewicz, J., Lejcuś, K., Dąbrowska, J. and Marczak, D. (2019), “The Characteristics of Absorbency Under Load (AUL) for Superabsorbent and Soil Mixtures”, Scientific Reports, Vol 9, 18098.
- Özaydın, K. (2007), “Zeminlerde Sıvılaştırma”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Özbakan, N. (2021), “Sodyum Poliakrilat ve Geçirimsiz Tabaka Uygulamalarının Zemin Sıvılaştırma Potansiyeline Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Özbakan, N. and Evirgen, B. (2022a), “An Effect of Sodium Polyacrylate on Sandy Soil Parameters and Its Use in Soil Improvement”, Proceedings of the 7th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering, 185.
- Özbakan, N., Evirgen, B. (2022b), “The Effect of Sodium Polyacrylate Gel on the Properties of Liquefiable Sandy Soil”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment (in review).
- Sohn, O. and Kim, D. (2002), “Theoretical and Experimental Investigation of the Swelling Behavior of Sodium Polyacrylate Superabsorbent Particles”, Journal of Applied Polymer Science, Vol 87, 252-257.
- Urgessa, G., Choi K.B. and Yeon J.H. (2018), “Internal Relative Humidity, Autogenous Shrinkage, and Strength of Cement Mortar Modified with Superabsorbent Polymers”, Polymers, Vol 10, 1074.
- Uyanık, S. ve Baykal, P.D. (2016), “Bebek Bezi Üretimi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Vol 31, 327-42.
- Yegian, M.K., Eseller-Bayat, E., Alshawabkeh, A. S. and Ali, S. (2007), “Induced-Partial Saturation for Liquefaction Mitigation: Experimental Investigation”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 133, 372-380.
- Zohuriaan, J. and Kabiri, K. (2008), “Superabsorbent Polymer Materials: A Review”, Iranian Polymer Journal, Vol 17, 451-477.