



Killi zeminlerin polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri ile iyileştirilmesi

Altuğ SAYGILI*

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Muğla
saygili@mu.edu.tr, ORCID:0000-0002-8366-793X, Tel: (252) 211 19 42

Geliş: 23.11.2017, Kabul Tarihi: 15.01.2018

Öz

Zemin iyileştirme yöntemleri, gelişen şehirleşme ve endüstrileşme sonucunda daha çok alan kullanımına ihtiyaç duyulması nedeniyle gün geçtikçe uygulamada tercih edilen metotlardan biri haline gelmiştir. Bir diğer tercih sebebi ise yeni geliştirilen metot ve malzemeler ile geleneksel yöntemlere göre daha ekonomik ve hızlı çözümlerin elde edilebilmesidir. Kimyasal stabilizasyon, kimyasal stabilizörlerin son yıllarda gelişen polimer endüstrisi sayesinde zemin iyileştirme uygulamalarında kullanımı, gerçekleştirilen uygulamaların ekonomik oluşu, kolay uygulanabilirlik ve erken dayanım kazanma nedenleri ile tercih edilen metotlardan biri haline gelmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada yerli üreticilerden temin edilen sıvı haldeki polimerik metil difenil izosiyanat polimerinin, kaolin kilinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri optimum su muhtevasında sıkıştırılmış kaolin numuneler içerisine farklı oranlarda eklenerek serbest basınç dayanımlarındaki değişimler değerlendirilmiştir. Sıvı polimer yüzde 3, 6, 9 ve 12 oranlarında numunelere optimum su muhtevasını geçmeyecek şekilde, su ile yer değiştirerek eklenmiş ve hazırlanan polimer katkılı numuneler 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca küre tabii tutulmuşlardır. Kür süresi sonunda farklı katkı oranlarına sahip numuneler serbest basınç testlerine tabii tutulmuş, polimer katkı oranı ve kür süresi arttıkça dayanımlarda kayda değer miktarda artışlar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaolin; kil; serbest basınç dayanımı; zemin stabilizasyonu; polimerik metil difenil izosiyanat; sıvı polimer

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Zemin iyileştirme metotları karayolları, şevler, kazılar ve dolgular gibi birçok uygulamada ekonomik ve hızlı çözüm üretmesi nedeni ile tercih edilmektedir. Sahada gerçekleştirilen uygulamalarda genellikle ağırlıklı olarak çimento ve kireç gibi katkılarla puzzolanik reaksiyonlar ile dayanım artışı sağlayan metotlar kullanılmaktadır. Bu yöntemler birçok zemin cinsinin iyileştirilmesinde ekonomik ve hızlı çözümler sunmaktadır. Bu metotlar zeminin mikro yapısında değişikliklere neden olarak geçirimsizlik ve dayanım gibi mühendislik özelliklerini geliştirmektedir. (Ingles, 1972; Hilf, 1991; Sherwood, 1994; Little, 1995; Puppala vd., 2003). Ancak bu tür katkı malzemeleri bazı tür zeminlerde yeterince efektif olamamakta, bazı zeminlerde ise negatif sonuçlar da doğurabilmektedir. Örnek olarak, sülfatça zengin zeminlerdeki uygulamalarda ettringit ($\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$) minerali oluşmakta, bu da zeminlerde istenmeyen kabarmalara ve şişmelere neden olabilmektedir (Mitchell, 1986; Katz vd.; 2001). Bunun yanında puzzolanik reaksiyon yaratan malzemelerle stabilize edilen zeminler daha gevrek davranışlar göstermekte bunun sonucunda dinamik yükler altında veya büzülme etkisinde çatlaklar oluşmasına neden olmaktadır (Little, 1992; Sebesta, 2005; Li, 2014). Bu çatlaklar zaman geçtikçe yüzey kaplamalarına da yansımakta ve özellikle yol kaplamalarında sorunlara sebep olmaktadır. Kireç, çimento gibi yapı malzemelerinin üretiminde ciddi miktarda enerji gereksinimine ihtiyaç duyulmakta, üretim aşamalarında karbon salınımı oluşmakta ve bu durum dünyamızdaki iklim değişikliğine negatif yönde etki etmektedir (Imbabi vd., 2012). Puzzolanik aktivite gösteren zemin iyileştirme malzemelerinin uygulanmadığı durumlarda reçine, köpük, emülsiyonlar, enzimler, asitler ve endüstriyel atıklarla stabilizasyon yaparak zeminlerin mühendislik özellikleri geliştirilebilmektedir (Rauch vd., 2002; Santoni vd., 2002; Newman ve Tingle, 2004; Harris vd., 2006; Gilazghi, 2016; Naeini ve

Ghorbanalizadeh, 2010). Sıvı polimerler son yıllarda zemin stabilizasyonu uygulamalarında kullanılmaya başlanmış, mukavemet artışı, geçirimsizlik özelliklerinde iyileşme, sıvılaştırma riskinde azalma ve hava koşulları etkisinde aşınmada kil matristeki adhezyonu artırarak ciddi iyileştirmeler elde edilmesine katkıda bulunmuşlardır (Camberfort, 1977; Moustafa vd., 1981; Jones vd., 1991; Ohama, 1995; Al-Khanbashi ve Abdalla, 2006; Zandieh ve Yasrobi, 2010; Ajalloein vd., 2013; Anagnostopoulos ve Papaliangas; 2012; Naeini vd., 2012; Anagnostopoulos vd., 2013; Mohammed ve Vipulanandan, 2013). Isı ve nem ile kürlenmiş sıvı polimerler çeşitlilik, fiyat farklılıkları (patentli ürünler) nedeni ile uygulamada alternatif metotlara göre ekonomik ve uygun malzeme seçimi konusunda zorluklar yaşanmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra farklı sıvı polimerlerin uygulama şekilleri de farklılık göstermektedir (Rauch vd., 2002; Santoni vd., 2002; Harris vd., 2006). Zemin stabilizasyon malzemelerine yapılan çalışmalar sonucunda yeni malzemelerin de eklenmesi ile henüz patent alınmamış sıvı polimerler karışımları hakkında literatürde kür süreleri ve uygulama metotları ile ilgili yeterince çalışma bulunmadığı görülmüştür. Farklı kürlenme ve karıştırma yöntemlerinde aynı polimer kullanılmasına rağmen farklı sonuçlar elde edildiği de görülmüştür. Dolayısıyla geleneksel zemin iyileştirme katkılarına nazaran daha detaylı araştırmaların yapılması hasıl olmuştur (Harris vd., 2006). Dünya genelinde kullanılan sıvı polimer zemin katkılarının büyük kısmı geleneksel katkı malzemelerine göre daha hızlı mukavemet kazanan, hava koşullarına daha dayanıklı ve daha uzun ömürlü çözümler üreten patentli ürünlerdir. Ancak patent gereği bu tür polimer zemin stabilizasyon malzemelerinin içeriği hakkında bilgi edinilememektedir. Bu çalışmada ülkemizde yerel kaynaklardan temin edilen polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri kullanılmıştır. Çalışmada, kil numunelerin mühendislik özelliklerini geliştirmek için sıvı polimer kullanılarak kür süresi ve dozaj etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan kaolin kili Çanakkale bölgesinden temin edilmiştir. Kil numuneler toz halde ağzı dikişli çuvalarda tedarik edilmiş olup öğütme işlemi olmadan numune hazırlama aşamasına geçilmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası standart proktor testi sonucunda elde edilmiş olup optimum su muhtevası yüzde 15, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 16.9 kN/m^3 olarak hesaplanmıştır (ASTM D698). Kaolin kilinin kıvam limitleri sırasıyla, likit limit 26.1, plastik limit 17.9 olarak yapılan deneyler sonucu tespit edilmiş, kimyasal özellikleri ise Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kaolin kili analiz sonuçları

ELEMENT	KAOLİN %
SiO ₂	63.09
Al ₂ O ₃	25.50
TiO ₂	0.38
Fe ₂ O ₃	0.37
CAO	0.30
MGO	0.01
Na ₂ O	0.14
K ₂ O	0.30
SO ₄	0.65
P ₂ O ₅	-
MNO	-
LOI	7.30

Polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimerinin teknik özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur. Polimerik metil difenil izosiyanat polimeri nem ve ısı ile zamanla aktive olmakta, akışkanlığı sayesinde numunelerle kolayca karıştırılabilmektedir. Tüm karışımlarda optimum su muhtevasına tamamlamak için sıvı polimer dışında kalan sıvılarda distile su kullanılmıştır. Polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimerin kil numuneler üzerindeki katkı yüzdeleri ve kür süresi etkisini serbest basınç testleri ile incelemek üzere kontrol ve modifiye edilmiş kil-sıvı polimer karışım numuneleri hazırlanmıştır.

Tablo 2. Polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri özellikleri

YAPIŞKANLIK	100 -2000 MPA S (25 °C'DE)
VİSKOZİTESİ (25°C)	200
ÖZGÜL AĞIRLIK (20°C)	1.23
SUDA ÇÖZÜNÜRLÜK	SUDA ÇÖZÜNMEZ, CO ₂ TEŞEKKÜLÜ İLE REAKSİYONA GİRER
KAYNAMA NOKTASI (EEC A42 YÖNTEMİ)	>300 °C (1011 hPa'DA) AYRIŞIR/POLİMERLEŞİR
DOYMUŞ BUHAR KONSANTRASYONU	<0,15 MG/M ³ (25 °C'DE HESAPLANMIŞ)
RENK	KAHVERENGİ

Polimerik metil difenil izosiyanat polimeri numune hazırlama aşamasında numunenin toplam sıvı muhtevası değişmeyecek şekilde distile su ile kil numuneye eklenmiştir. Farklı oranlarda karıştırılan numuneler optimum su muhtevasını sağlayacak oranda saf su eklenerek Şekil 1'de gösterilen minyatür harvard kompaksiyon cihazı yardımı ile standart proktor enerjisi seviyesinde sıkıştırılmıştır (592 kJ/m^3).



Şekil 1. Minyatür harvard kompaksiyon ekipmanı

Sıvı polimer, etkisini araştırmak amacı ile ağırlıkça yüzde 0, 3, 6, 9 ve 12 oran ile kil

numunelere toplam sıvı muhtevası değişmeyecek şekilde eklenmiştir. Tablo 3'te karışım oranları gösterilmiştir.

Tablo 3. Karışım oranları

NUMUNE ADI	KİL AĞIRLIK (GR)	SIVI POLİMER (GR)	DİSTİLE SU (GR)
PMD3	120	3.6	14.4
PMD6	120	7.2	10.8
PMD9	120	10.8	7.2
PMD12	120	14.4	3.6

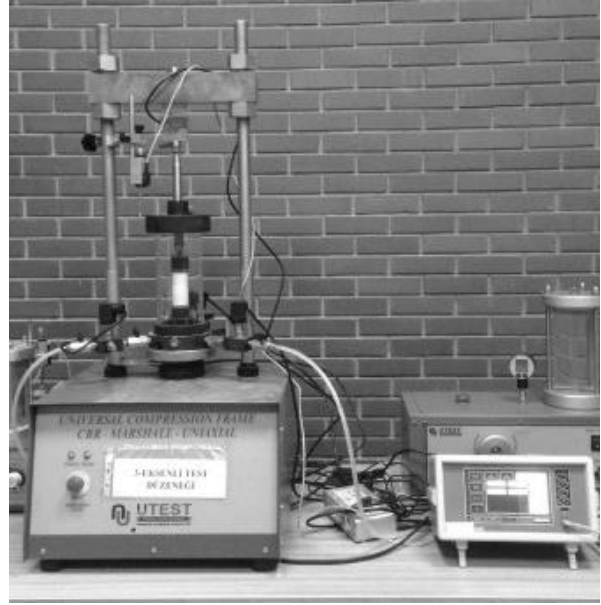
Laboratuvarda her bir numuneden üçer set örnek hazırlanmıştır. Numuneler öncelikle su ile homojen karışım elde edilecek şekilde karıştırılmış, ardından sıvı polimer eklenip tekrar karıştırılmıştır. Bu metodun sudan önce polimer eklemeye göre daha iyi sonuçlar verdiği yapılan bazı araştırmalarda kanıtlanmıştır (Gilazghi vd., 2016). Standart proktor enerji seviyesinde sıkıştırılmış numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra streç film ve alüminyum folyo ile sarılmış, 21⁰C sabit sıcaklıkta ve nem kontrollü odada Şekil 2'de görünen tabanları su dolu desikatörlerin içerisinde 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca küre tabii tutulmuşlardır.



Şekil 2. Kürlenmiş numuneler

Küre süresi sonunda numuneler Şekil 3'te gösterilen cihaz kullanılarak 0.5 mm/dakika hız ile serbest basınç testlerine tabii tutulmuşlardır (ASTM D2166). Hazırlanan numuneler 34 mm. çapında ve 72-74mm. aralığında boy değerlerinde üretilmiştir. Her bir karışım oranından üçer set olmak üzere toplamda 48

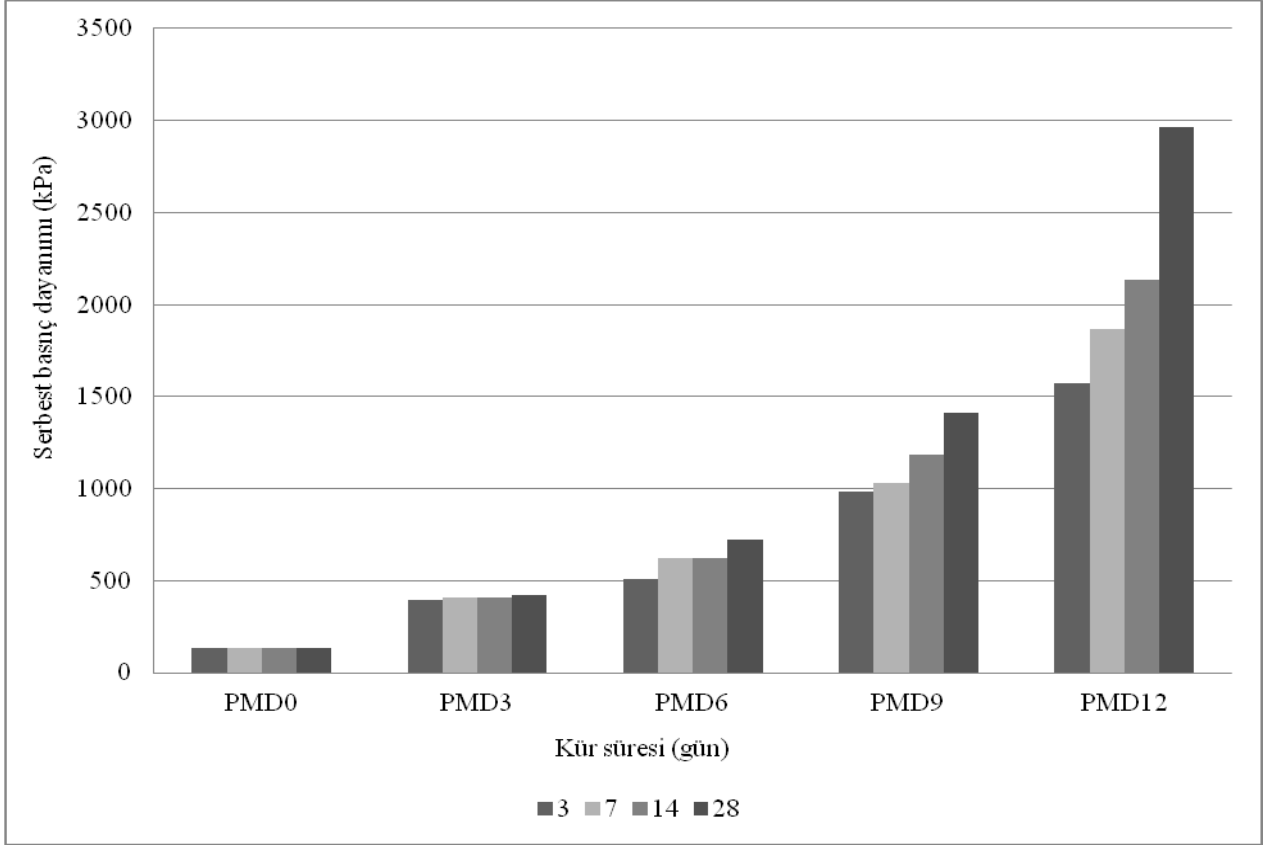
numune hazırlanmış ve testler sonunda bir karışım için üç numunenin ortalama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. Serbest basınç test ekipmanı

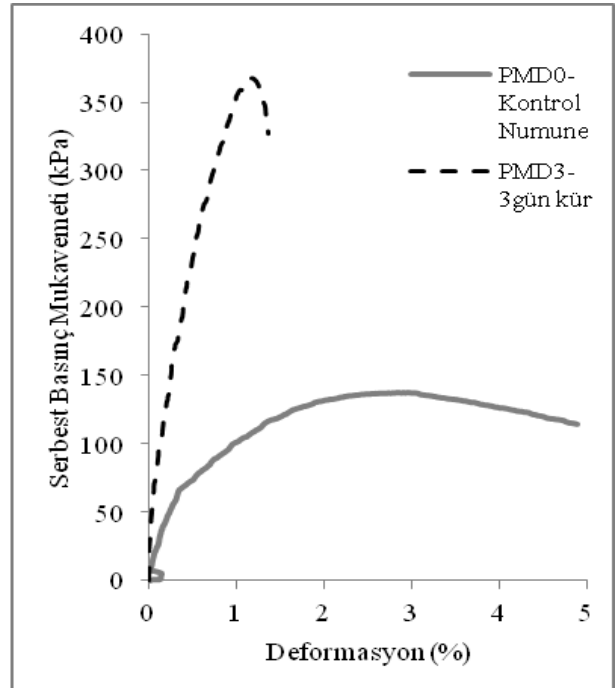
Uygulama ve Başarımlar

Farklı karışım oranlarına sahip numuneler, polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimer katkı ve katkısız olacak şekilde 3, 7, 14 ve 28 günlük küre süreleri sonunda dayanım testleri için serbest basınç ölçümlerine tabii tutulmuşlardır. Şekil 4'te küre süresi sonunda farklı oranlarda polimerik metil difenil izosiyanat (PMDI) sıvı polimer katkı kil numunelerin küre süresinin ve katkı oranının serbest basınç dayanımına etkisi gösterilmiştir. Grafiklerde kil numunelerdeki sıvı polimer yüzde artışının test edilen numunelerin serbest basınç dayanımlarını ne yönde değiştirdiği görülmektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere kontrol numune olan PMD0 (yüzde sıfır sıvı polimer katkısı) numunesine göre 28 gün sonunda PMD12 (% 12 sıvı polimer katkısı) numunesi yaklaşık 20 katı aşan bir mukavemet artışı göstermiştir. Yine 28 gün sonunda PMD3 (sıvı polimer katkısı % 3) numunesi en az mukavemet artışı gösteren numunedir. Ancak bu numuneden elde edilen değerlerde bile kontrol numuneye (PMD0) göre 3 kattan fazla artış söz konusudur.



Şekil 4. Farklı oranlarda sıvı polimer katkılı kil numunelerin kür sürelerine göre basınç dayanımı

Grafikte sıvı polimer katkısı ve kür süresi arttıkça dayanımlarda artış görülmektedir. Dikkat çeken husus 3 gün gibi kısa bir sürede yaklaşık üç kata çıkan dayanımlar elde etmenin mümkün olduğudur. Kür süresi arttıkça dayanım artışı PMD12 numunesi haricinde ilk üç günlük artışa göre daha az seviyededir. Bu da özellikle acil müdahale edilmesi gereken durumlarda hızlı mukavemet kazanma açısından sıvı PMDI polimeri ile stabilizasyonu ön plana çıkarmaktadır. Şekil 5'te kontrol ve katkılı numunelerden üç gün küre tabii tutulmuş PMD3 numunesine ait gerilme-şekil değiştirme davranışı görülmektedir. Numunelere sıvı polimer katılması yükleme altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışını değiştirmiş ve serbest basınç dayanımlarının ciddi miktarda artmasına sebep olmuştur. Sıvı polimerin nem ve ısı altında aktive olup sertleşmesi sonucu kil matrisin mukavemetinde artış olmuştur. Sıcaklık ve nem arttırıldığında PMDI polimerinin sertleşme süresi daha da kısalmaktadır.



Şekil 5. Gerilme-şekil değiştirme davranışı

Bu bulgular ışığında yüksek sıcaklığa sahip iklim ve bölgelerde (kür odası koşulları ile

kıyaslanarak) dayanım artışının daha hızlı olacağı öngörülmektedir. Bu da PMDI sıvı polimerini daha da avantajlı bir zemin stabilizasyon malzemesi olarak ön plana çıkarmaktadır.

Sonuçlar ve Tartışma

Mevcut çalışmada kil numuneler dünyada son yıllarda kullanılmaya başlanan farklı zemin iyileştirme malzemelerinden olan sıvı polimerlerden PMDI ile karıştırılıp üzerlerinde serbest basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmadan çıkan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

-Kil numunelerin dayanımı sıvı polimer katkısı ile 28 gün kür sonunda kontrol numunelerinin dayanımlarının 20 katına ulaşmıştır.

-PMDI sıvı polimerinin derin karıştırma metotları ile uygulanması halinde killi zeminlerde karşılaşılan sorunların büyük bir kısmına çözüm üretilmiş olacak, derin karıştırma metodu yanı sıra, yol altı tabakalarında da kolaylıkla uygulanabilecektir.

-Killi zeminlerdeki alternatif stabilizasyon metotlarına göre daha hızlı dayanım kazanması ile sıvı polimer seçeneği öne çıkmaktadır. Bunun yanında 1.5 abd doları/kg birim fiyatı ile yüzde 3 ve 6 oranlarında kil matrisine eklenmesi halinde ekonomik bir seçenek olacağı düşünülmektedir.

-Yerli kaynaklarca üretilen bu sıvı polimerin özellikle kısıtlı sürede müdahale edilmesi gereken zemin stabilite problemlerinde hızlı çözüm üreteceği düşünülmektedir.

-Uygulamada ihtiyaç duyulan mukavemet artışına göre katkı oranı belirlenip kür süresi ve ihtiyaç duyulan dayanım seviyesine göre proje mühendisleri hızlıca karar verebileceklerdir.

-Kullanılan sıvı polimer yüksek sıcaklıkla daha hızlı aktive olduğu için ülkemizde sıcak yaz aylarında yapılacak uygulamalarda daha da hızlı mukavemet artışını sağlamak mümkün olacaktır.

-Kullanılan polimerin sıvı halde ve akışkan yapıda olması nedeni ile uygulamada zorluklar yaşanmayacak, karıştırma işlemi için ekstra bir ekipmana ihtiyaç duyulmayacaktır.

-Sertleştikten sonra sağlık açısından bir sorun teşkil etmeyen, günlük hayatta da sert poliüretan köpük olarak ısı yalıtım malzemelerinde, poliüretan döşeme kaplamalarında, otomotiv (iç ve dış parçalarında) ve beyaz eşya gibi birçok sektör ve faaliyet alanında kullanılmakta olan PMDI sıvı polimeri ile iyileştirilmiş zeminlerin sızıntı suyu analizlerinin daha sonraki çalışmalarda yapılması düşünülmektedir.

Aynı performans artışını kısa sürelerde sağlayabilmek için çok daha maliyetli katkılar günümüzde zemin iyileştirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Mevcut yöntemlere ilaveten hızlı ve ekonomik bir alternatif olarak mevcut çalışma ön plana çıkmaktadır.

Kaynaklar

- Ajalloeian R., Matinmanesh H., Abtahi S., Rowshanzamir M., (2013). Effect of polyvinyl acetate grout injection on geotechnical properties of fine sand, *Geomechanics and Geoengineering*, 8(2), 86–96.
- Al-Khanbashi A., El-Gamal M., (2003). Modification of sandy soil using water-borne Polymer, *Journal of Applied Polymer Science*, 88(10), 2484–2491.
- Al-Khanbashi A., Abdalla S., (2006). Evaluation of three waterborne polymers as stabilizers for sandy soil, *Geotechnical and Geological Engineering*, 24(6), 1603–1625.
- Anagnostopoulos C., Hadjispyrou S., (2004). Laboratory study of an epoxy resin grouted sand, *Ground Improvement*, 8(1), 39–45.
- Anagnostopoulos C., Papaliangas T., (2012). Experimental investigation of epoxy resin and sand mixes, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(7), 841–849.
- Anagnostopoulos C., Kandiliotis P., Lola M., Karavatos S., (2013). Effect of epoxy resin mixtures on the physical and mechanical properties of sand, *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 7(17), 3478–3490.
- Camberfort H., (1977). The principles and applications of grouting, *Quarterly Journal of*

- Engineering Geology and Hydrogeology, 10(2), 57–95.
- Gilazghi S., Huang J., Rezaeimalek S., Bin-Shafique S., (2016). Stabilizing sulfate-rich high plasticity clay with moisture activated polymerization, *Engineering Geology*, 211, 171–178.
- Harris P., Holdt P., Sebesta S., (2006). Recommendations for Stabilization of High – Sulfate Soils in Texas, Federal Highway Administration, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, FHWA/TX-06/0-4240-3.
- Hilf J., (1991). Compacted fill, H. Fang (Ed.), *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York, ABD.
- Imbabi M., Carrigan C., McKenna S., (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194–216.
- Ingles O.G., Metcalf J.B., (1972). *Soil Stabilization: Principles and Practice*, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, İngiltere.
- Jones E., Ajayi-Majebi A., Grissom W., Smith L., Jones E., (1991). Epoxy-resin-based chemical stabilization of a fine, poorly graded soil system, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1295, 95–108.
- Katz L., Rauch A., Liljestrang H., Harmon J., Shaw K., Albers H., (2001). Mechanisms of soil stabilization with liquid ionic stabilizer, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1757, 50–57.
- Li X.J., (2014). Shrinkage Cracking of Soils and Cementitiously-Stabilized Soils: Mechanisms and Modeling, *Doktora tezi*, Washington State University, ABD.
- Little D.N., (1992). Comparison of in-situ resilient moduli of aggregate base courses with and without low percentages of lime stabilization, *ASTM Special Technical Publication*, 1135, 8–22.
- Little D., (1995). Stabilization of Pavement Subgrades Base Courses with Lime, *Lime Association of Texas*, ABD.
- Liu J, Shi B., Jiang H., Huang H., Wang G., Kamai T., (2011). Research on the stabilization treatment of clay slope topsoil by organic polymer soil stabilizer, *Engineering Geology*, 117, 114–120.
- Mitchell J., (1986). The twentieth Terzaghi lecture, *Journal of Geotechnical Engineering*, 112(3), 255–289.
- Mohammed A., Vipulanandan C., (2013). Compressive and tensile behavior of polymer treated sulfate contaminated CL Soil, *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(1), 71–83.
- Moustafa A., Bazaraa A., Nour El Din A., (1981). Soil stabilization by polymeric materials, *Macromolecular Materials and Engineering*, 97(1), 1–12.
- Naeini S., Ghorbanalizadeh M., (2010). Effect of wet and dry conditions on strength of silty sand soils stabilized with epoxy resin polymer, *Journal of Applied Sciences*, 10(22), 2839–2846.
- Naeini S., Naderinia B., Izadi E., (2012). Unconfined compressive strength of clayey soils stabilized with waterborne polymer, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(6), 943–949.
- Newman K., Tingle J., (2004). Emulsion polymers for soil stabilization, *Airport Technology Transfer Conference*, Atlantic City, New Jersey, ABD.
- Ohama Y., (1995). *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, ABD.
- Puppala A.J., Ramakrishna A.M., Hoyos L.R., (2003). Resilient moduli of treated clays from repeated load triaxial test, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1821, 68–74.
- Rauch A., Harmon J., Katz L., Liljestrang H., (2002). Measured effects of liquid soil stabilizers on engineering properties of clay, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1787, 33–41.
- Rezaeimalek S., Huang J., Bin-Shafique S., (2017). Evaluation of curing method and mix design of a moisture activated polymer for sand stabilization, *Construction and Building Materials*, 146, 210–220.
- Santoni R., Tingle J., Webster S., (2002). Stabilization of silty sand with Nontraditional additives, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board* 1787, 61–70.
- Sebesta S., (2005). Use of microcracking to reduce shrinkage cracking in cement treated bases, *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, 1936, 3–11.
- Sherwood P., (1994). *Soil Stabilization with Cement and Lime*, Stationary office, Londra, İngiltere.
- Zandieh A., Yasrobi S., (2010). Study of factors affecting the compressive strength of sandy soil stabilized with polymer, *Geotechnical and Geological Engineering*, 28(2), 139–145.

Stabilization of kaolinite clay with pmdi liquid polymer

Extended abstract

Soil stabilization methods are preferred in practice due to the necessity of using more land with the reason of developing urbanization and industrialization. Soil stabilization methods are preferred due to economical and quick solutions offered compared to traditional methods. The use of chemical stabilizers in soil stabilization applications thanks to the polymer industry has become one of the preferred methods due to economy, easy application and early strength gain. In this study the effects of polymeric methyl diphenyl isocyanate liquid polymer, obtained from domestic producers, on the engineering properties of kaolinite clay were investigated.

The kaolinite clay used in the study was obtained from Çanakkale region. The clay samples were supplied in powdered form. The optimum water content was calculated as 15%, the maximum dry unit weight as 16.9kN/m³ (ASTM D698). The atterberg limits of the kaolinite clay were determined as, liquid limit 26.1 and plastic limit 17.9, respectively.

The polymeric methyl diphenyl isocyanate polymer is activated with moisture and heat, and can be easily mixed with the clay specimens due to its viscosity. In all mixtures, distilled water was used.

The changes in unconfined compressive strength values were evaluated by adding polymeric methyl diphenyl isocyanate liquid polymer at different ratios into the compacted kaolinite clay samples at optimum water content. Miniature harvard compaction device is used for compacting specimens using standard proctor energy level (592 kJ/m³). The liquid polymer was added at 3, 6, 9 and 12 per cent by weight with distilled water, so as not to exceed the optimum water content, and the polymer-added samples were cured at the curing room for 3, 7, 14 and 28 days.

Three sets of samples were prepared from each mixture type in the laboratory. The samples were first mixed with distilled water to obtain a homogeneous mixture, then the liquid polymer was added and mixed again. It has been proved in previous studies that this method gives better results than polymer addition before addition of distilled water.

At the end of the curing period, samples with different polymer ratios were subjected to unconfined compressive strength tests.

The PMD12 sample (12% liquid polymer added) showed strength increase about 20 times at the end of 28 days compared to the control sample PMD0 (zero percent liquid polymer admixture). Also at the end of 28 days PMD3 (liquid polymer additive 3%) sample showed the least increase in strength due to the low polymer content. However, even with the values obtained from PMD3 sample, there is an increase of more than 3 times the control sample (PMD0). It is important to note that it is possible to obtain strength increase of about three times in such a short period as 3 days. In literature, different studies with liquid polymer addition to soil specimens have been investigated. The results are compared with the current study. The strength increase obtained in this study is close to the values obtained in the literature with several patented polymer soil stabilizers.

The liquid polymer is activated under moisture and heat and afterwards polymerization has increased the strength of the clay matrix. When the temperature and humidity levels are increased, the hardening time of the PMDI polymer is further shortened. It is predicted that the increase in strength will be faster in high temperature climates and regions (compared to curing room conditions).

PMDI liquid polymer is used in many applications, such as polyurethane floor coverings, automotive (interior and exterior parts), home appliances and in thermal insulation applications as polyurethane foam in daily life, which does not constitute a health problem after hardening.

To achieve same performance gain in the short term, much more costly additives are now being used in ground improvement applications. In addition to the traditional methods, current study can be a fast and economic option in soil stabilization applications.

Keywords: Kaolinite, clay, unconfined compressive strength, soil stabilization, polymeric methylene diphenyl diisocyanate, liquid polymer