

DERİN KARIŞTIRMA İLE İYİLEŞTİRİLEN FARKLI TİP TRAKYA ZEMİNLERİNDE TEK EKSENLİ DAYANIM DEĞİŞİMİ

THE VARIATION OF UNI-AXIAL COMPRESSIVE STRENGTH IN DIFFERENT TYPE SOILS OF THRACE IMPROVED BY DEEP-MIXING

Volkan KALPAKCI¹, Şevki ÖZTÜRK²

ÖZET

Derin karıştırma yönteminde; esasen zayıf zeminler farklı dozajlarda genellikle çimento şerbeti türü bir bağlayıcı malzeme ile yerinde karıştırılarak, zemin içerisinde belirli çap ve aralıklarla iyileştirilmiş kolonlar oluşturulmaktadır. Bu şekilde, zeminin taşıma gücü ve oturma benzeri davranışlarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu yöntemde elde edilecek iyileştirme; zeminin türü, bağlayıcı madde dozajı, imalat özellikleri ve ekipmanı gibi farklı değişkenlere bağlıdır. Pek çok diğer yöntemle göre çoğunlukla daha hızlı ve ekonomik olması sebebiyle bu yöntemin ülkemizde kullanımı son yıllarda ciddi şekilde artmıştır. Bu çalışmada; Trakya bölgesinde yapılan bir hat uygulamasında, çeşitli sondajlar yapılarak öncelikle derin karıştırma bölgesi zemin özellikleri detaylı şekilde belirlenmiş, iyileştirme sonrasında ise uygulama hattı boyunca geçilen farklı tipte iyileştirilmiş zeminlerden farklı derinliklerde numuneler alınarak, bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Toplamda 24 farklı numuneden alınan sonuçlar literatürde ilgili zemin türleri için verilen iyileştirilmiş dayanım aralıkları ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu çalışmalarda, elde edilen saha sonuçlarının siltli killi kum ve kil tipi zeminlerde literatürde verilen aralıklar ile uyumlu olduğu, daha organik içerikli tabakalarda ise iyileşmenin çok sınırlı olduğu görülmüştür. Bu durumun muhtemel sebepleri irdelenmiştir. Ayrıca beklendiği üzere; zemin içeriğindeki iri dane oranı arttıkça, iyileştirme sonrası numune dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İyileştirme, tek eksenli basınç, zemin, dayanım, derin karıştırma

ABSTRACT

In deep-mixing method, mainly loose soils are mixed in-situ with mostly a cement type binder and improved columns are formed in defined pattern. So, it is aimed to improve the

¹ Dr., GEOCE Geoteknik Ltd. Şti., volkan.kalpaki@hku.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Dr., Çankaya Üniversitesi, sevki.ozturk@cankaya.edu.tr

behavior of the soil like bearing capacity and settlement. The level of improvement in this method is dependent on different factors like the soil type, binder dosage, construction specifications and equipment. In recent years, utilization of this method has significantly increased in our country since it is generally more economical and faster. In this study; initially the soil types at a route study in the Thrace region were investigated by site investigations. After improvement, samples were taken from different soils and different depths and uni-axial compressive strength tests were performed. The results obtained from 24 different samples were compared by the ranges given in the literature for the related soil types. The test results were in accordance with the strength ranges given for silty clayey sand and clay type soils while the improvement was very limited at soil layers with organic content. The possible reasons of this fact are discussed in detail. Also as expected, the samples with higher coarse grain content revealed higher compressive strength after improvement.

Keywords: *Improvement, uni-axial compressive, soil, strength, deep-mixing*

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirmesi; günümüz geoteknik mühendisliğinde pek çok farklı yöntem ile uygulanmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemlerinin geleneksel geoteknik yöntemlere kıyasla genellikle daha ekonomik ve hızlı çözümler sunabilmesi sebebiyle uygulama çeşitliliği ve yaygınlığı her geçen gün hızla artmaktadır. Son yıllarda uygulama sahası hızla artan zemin iyileştirme yöntemlerinden birisi de derin karıştırma yöntemidir.

Derin karıştırma yönteminde; zemin yerinde genellikle çimento şerbeti esaslı bir bağlayıcı ile karıştırılarak iyileştirebilmektedir. 1960-1970 yıllarında Japonya ve İskandinav ülkelerinde uygulanmaya başlayan yöntem daha sonra hızla Avrupa ülkelerine yayılmaya başlamıştır (FHWA, 2000). Kuru ve ıslak olarak uygulanabilen yöntem, özel tasarlanmış ekipmanlarla mekanik, hidrolik veya pnömatik olarak yapılmaktadır (Alhamdi ve Albusoda, 2021). Kullanılan bağlayıcı, zeminin özellikleri, karıştırma koşulları ve kür koşulları derin karıştırma kolon dayanımlarını etkileyen en önemli etkenlerdir (Terashi, 1997).

Karıştırma derecesini ölçmek için sıklıkla bıçak dönüş sayısı (BRN) dikkate alınmaktadır. BRN; bıçak sayısı, bıçağın iniş sırasındaki hızı ve dönüş sayısı ve bıçağın çıkış sırasındaki hızı ve dönüş sayısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. BRN değeri; zeminin gevşeyip bağlayıcı ile karışmasına olanak sağlayacak şekilde uygun olarak seçilmelidir (Topolnicki ve Pandrea, 2012).

Yöntem, taşıma gücü ve oturma problemlerinde, sıvılaşmaya karşı önlem olarak ve yatay destek sağlamak amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır (Bruce, 2001). Diğer iyileştirme yöntemleri ile kıyasla derin karıştırma yönteminin kısa sürede hızlı mukavemet artışı, çevreye daha az zararlı olması ve uygun bağlayıcı ile her zemine uygulanabilmesi gibi avantajları söz konusudur (Kitazume ve Terashi, 2013).

Derin karıştırma yöntemi ile iyileştirme sonrası dayanım değerleri son yıllarda pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Örneğin; Fang vd. (2001) çalışmalarında çeşitli zemin tiplerinde derin karıştırma yöntemini uygulamış ve iyileştirilmiş numunelerde zemin tipine

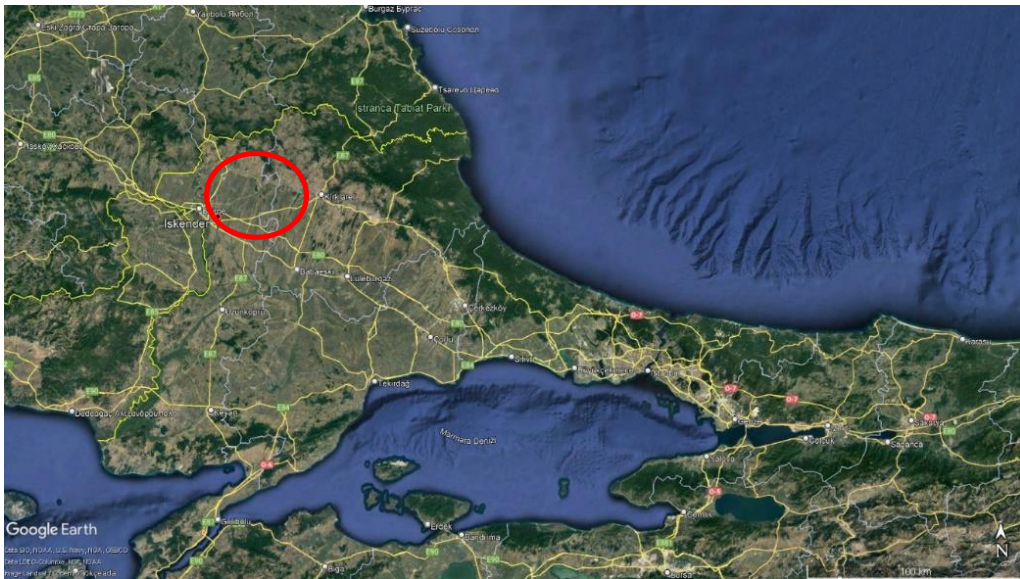
göre 2-7 MPa aralığında basınç dayanımı elde etmişlerdir. Lorenzo ve Bergado (2006) ise çalışmalarında derin karıştırma sonrasında kil zeminlerde basınç dayanımını incelemişler ve sonuçların pek çok değişkene bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çeşitli araştırmacılar ise olasılıksal yöntemler ile derin karıştırma kolonlarında tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır (Liu vd, 2008; Chen vd., 2011; Chen vd, 2016). Ayrıca farklı bağlayıcı malzemelerin eksenel basınç dayanımına etkileri pek çok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır (Horpibulsuk vd., 2004; Park vd., 2014; Arasan vd., 2015).

Bu çalışmada; Trakya bölgesinde devam eden bir proje kapsamında önce saha araştırmaları ile zemin iyileştirmesi gerekli bölge belirlenmiş sonra ise ıslak derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilen farklı tipte zeminlerden toplamda 24 numune alınarak bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları literatürde ilgili zemin tipleri için verilen aralıklarla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; siltli killi kum ve kil zeminlerde literatürde öngörülen dayanım aralıklarıyla uyumlu sonuçlar elde edilmiş olup, organik zemin içerikli tabakalarda ise iyileştirmenin sınırlı kaldığı görülmüştür. Bu durumun muhtemel sebepleri çalışma içerisinde tartışılmıştır. Ayrıca beklendiği üzere, zeminlerin iri dane oranı arttıkça iyileştirme sonrası tek eksenli basınç dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir.

2. SAHA VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

2.1. Saha Çalışmaları

Bildirinin önceki bölümlerinde belirtildiği üzere iyileştirme çalışmalarının yapıldığı saha Trakya bölgesinde olup, söz konusu iyileştirme çalışmaları bir tren yolu yapım projesi kapsamında uygulanmıştır. Saha Edirne girişinde mevcut demiryoluna bitişiktir. Saha yerleşimi Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Saha yerbulduru haritası

Söz konusu saha çalışmalarını kapsamında, zemin profilini detaylı şekilde incelemek amacıyla, 900m uzunluğundaki hat boyunca derinlikleri 20-40m aralığında değışen 6 adet sondaj kuyusu ile derinlikleri 12-25m arasında değışen 8 adet CPT ve 2 adet her biri 4m derinliğinde araştırma çukuru açılmıştır. Bu incelemeler sonucunda çalışma alanında yüzeyden itibaren yaklaşık 20-30 m kalınlığında Kuvaterner Alüvyon (kil, kum, silt) birimleri tespit edilmiştir. Alüvyon birim altında, Üst Miyosen Pliyosen yaşlı Çorlu formasyonuna (Teç) ait kil bantları içeren kum yer almaktadır. Sondaj verilerine yeraltı suyu en sığ noktada yüzeyden 2.5m derinlikte gözlemlenmiştir. Özetle, elde edilen jeolojik profile göre, iyileştirme yapılmasına karar verilen aralıkta yer yer kalın siltli killi kum bantlarına rastlanılan derin kil tabakaları ile karşılaşılmasıdır. Yapılan hesaplamalarda söz konusu bölgedeki dolgu yükü sebebiyle, oturmaların yapım süresi içerisinde izin verilebilir limitlere düşmediğı görüldüğünden bu tabakalar boyunca derin karıştırma yöntemi ile iyileştirme yapılarak, zamana bağı oturmaların sınırlandırılması amaçlanmıştır. Zemin profilinin iyileştirme derinliği boyunca değışken olması, sabit dozajda aynı ekipmanla aynı zamanda yapılan bir uygulamada farklı zemin tiplerindeki iyileştirme oranlarının gözlemlenmesine olanak sağlamıştır. Uygulamada 300 çimento dozajı kullanılmış olup, “BRN” değeri 200-250 aralığında, su çimento oranı (w/c) ise 0.8-1.0 aralığında tutulmuştur. Uygulama ekipmanı ve uygulama sonucunda oluşan derin karıştırma kolonları Şekil 2 ve Şekil 3’ de sunulmuştur.



Şekil 2. Kullanılan derin karıştırma ekipmanı



Şekil 3. Derin karıştırma uygulama sonrası görünüm

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Zemin iyileştirme çalışmalarının tamamlanmasını takiben 28 günlük kür süresi beklenmiş ve kür süresinin tamamlanması sonrasında 4 farklı iyileştirme kolonu boyunca toplamda 24 farklı noktadan numune alınarak bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmış ve numunelerin tek eksenli basınç dayanımları (q_u) elde edilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları ile ilgili derinlikteki zemin tipi Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1’de özetlenen deney sonuçları incelendiğinde Birleşmiş Zemin Sınıflama Sistemi USCS’e göre (Stevens, 1982) “CL” tipi düşük plastisiteli killerde tek eksenli basınç dayanımının genellikle 2-3 MPa aralığında olduğu, “SM-SC” tipi siltli killi kumlarda ise bu değer 4-8 MPa aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Organik içerikli “OH” tipi zeminlerde ise dayanımdaki artışın çok sınırlı kaldığı ve arzu edilen iyileştirmenin elde edilemediği görülmüştür.

Siltli killi kum tabakalarından alınan karot numuneleri Şekil 4’de, düşük plastisiteli kil zeminlerden alınan numuneler Şekil 5’de, organik tabakalardan alınan numune örneği ise Şekil 6’da gösterilmiştir. Bu şekillerden görülebileceği üzere; siltli killi kum tabakalarında oldukça homojen ve sağlam bir karışım oluşturulabilmiş (Şekil 4), kil zeminlerde ise nispeten daha zayıf bir yapı ortaya çıkmıştır (Şekil 5). Bu durum elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerlerine de yansımıştır. Organik içerikli zeminlerde ise yeterli karıştırma sağlanamamış olup, sadece belirli bölgelerde lokal olarak çimento şerbeti gözlemlenebilmiştir (Şekil 6).

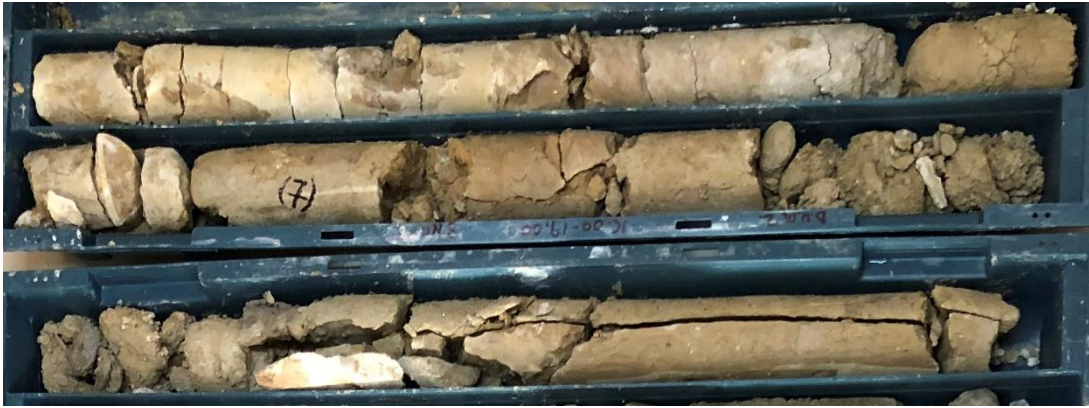
Tablo 1. Tek eksenli basınç deneyleri sonuç özet tablosu

Kolon	Numune no	Derinlik (m)	Zemin Tipi	Zemin Sınıfı (USCS)	q _u (MPa)
1	1	0.50-0.65	Siltli Killi Kum	SM-SC	4.49
1	2	1.40-1.55	Siltli Killi Kum	SM-SC	5.11
1	3	2.40-2.65	Siltli Killi Kum	SM-SC	5.08
1	4	4.60-4.95	Siltli Killi Kum	SM-SC	4.79
1	5	6.15-6.30	Siltli Killi Kum	SM-SC	4.42
1	6	8.30-8.50	Siltli Killi Kum	SM-SC	4.26
1	7	9.25-9.45	Siltli Killi Kum	SM-SC	4.24
1	8	22.85-23.00	Siltli Killi Kum	SM-SC	6.16
1	9	24.36-24.45	Siltli Killi Kum	SM-SC	7.76
2	10	3.20-3.40	Kil	CL	2.65
2	11	5.80-6.00	Kil	CL	2.75
2	12	9.70-10.00	Kil	CL	2.90
2	13	13.30-13.60	Kil	CL	2.42
2	14	17.95-18.20	Kil	CL	2.90
3	15	3.00-3.25	Kil	CL	3.06
3	16	5.00-5.18	Kil	CL	2.87
3	17	10.50-10.85	Kil	CL	2.56
3	18	12.50-12.70	Killi Kum	SC	4.00
3	19	16.85-17.05	Kil	CL	2.81
4	20	21.60-22.00	Organik Kil	OH	0.17
4	21	22.00-23.40	Organik Kil	OH	0.24
4	22	23.60-24.00	Organik Kil	OH	0.10
4	23	24.00-24.40	Organik Kil	OH	0.26
4	24	24.60-25.00	Organik Kil	OH	0.27

Amerikan karayolları idaresinin ilgili derin karıştırma şartnamesinde de (FHWA, 2013) belirtildiği üzere ıslak karıştırmada literatürde 0.1-28 MPa aralığında değişen tek eksenli basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Sonuca etki eden pek çok faktör olduğundan belirtilen şartnamede her proje için uygulama öncesinde saha ve laboratuvar çalışmaları ile hedef tasarım değerinin belirlenmesi önerilmekte olup, bu çalışmalar yapılmadan bir değer belirlenmesi tavsiye edilmemektedir. Her ne kadar uygulama farklılıkları bulunsun da elde edilen deney sonuçları Hayward Baker (2010) tarafından zemin tipine bağlı kolon dayanımı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 7’de verilen abaktan da görülebileceği üzere elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri literatürde ilgili zemin tipleri için verilen dayanım aralıkları ile genel olarak uyumludur.



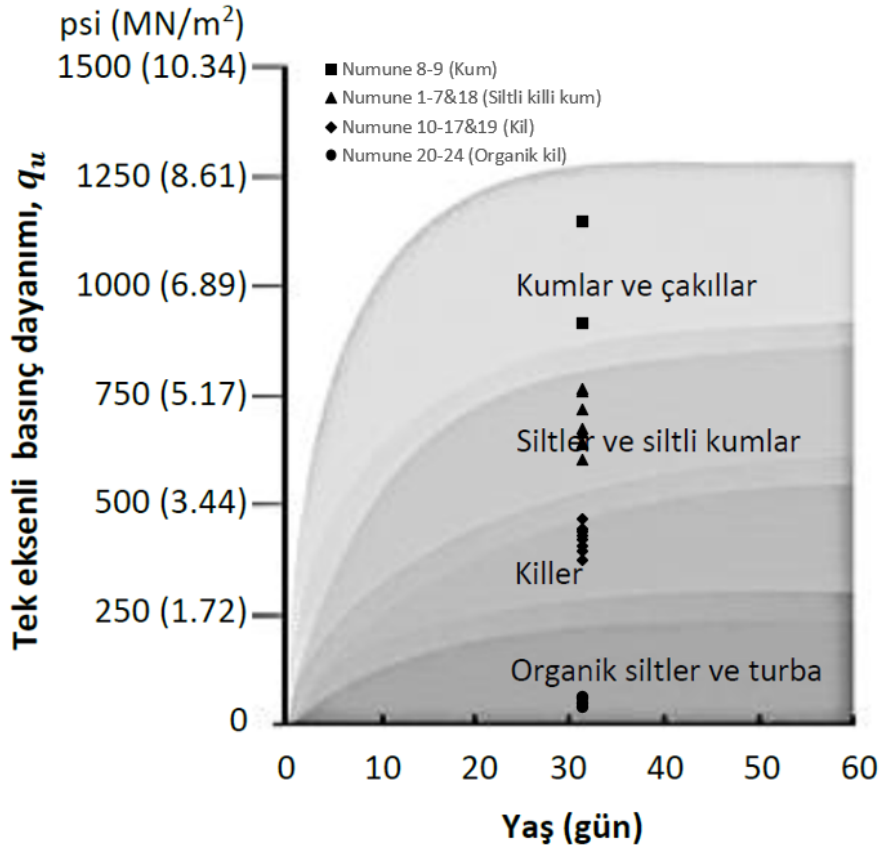
Şekil 4. Siltli killi kum tabakalarından alınan derin karıştırma numuneleri



Şekil 5. Düşük plastisiteli kil zeminlerden alınan derin karıştırma numuneleri



Şekil 6. Organik zeminlerden alınan derin karıştırma numunesi



Şekil 7. Zemin tipine bağlı tek eksenli basınç dayanımı aralıkları (Hayward Baker, 2010)

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Trakya bölgesinde rastlanılan farklı tip zeminlerde ıslak derin karıştırma ile zemin iyileştirmesi uygulaması sonucunda elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile bu değerlerin zemin tiplerine göre değişimi irdelenmiştir.

Bu amaçla, yapımı devam eden bir güzergâh projesinde belirlenen bölgede derin karıştırma kolonları imal edilmiş ve bu kolonlardan farklı derinliklerde 24 farklı numune alınarak, bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Zemin profili boyunca düşük plastisiteli killer (CL), siltli killi kumlar (SM-SC) ve organik killer (OH) ile karşılaşmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde “CL” tipi düşük plastisiteli killerde tek eksenli basınç dayanımının genellikle 2-3 MPa aralığında olduğu, “SM-SC” tipi siltli killi kumlarda ise bu değer 4-8 MPa aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Organik içerikli “OH” tipi zeminlerde ise dayanımdaki artışın çok sınırlı kaldığı ve arzu edilen iyileştirmenin elde edilemediği görülmüştür. Literatür verisi ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin siltli killi kum ve kil zeminler için öngörülen aralıklar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Siltli killi kum tabakalarında oldukça homojen ve sağlam bir karışım oluşturulabilmiş olmasına karşın kil zeminlerde nispeten daha zayıf bir yapı ortaya çıkmıştır. Bu durum elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerlerine de yansımıştır. Organik içerikli zeminlerde

ise yeterli karıştırma sağlanamamış olup, sadece belirli bölgelerde lokal olarak çimento şerbeti gözlemlenebilmiştir.

Bu durumun esasen kullanılan ekipman ve uygulama detayları ile ilgili olduğu öngörülmektedir. İlgili standartlar ve literatür incelendiğinde; kil içerikli yüksek plastisiteli zeminlerde uygun karıştırma bıçakları ve püskürtme uçları kullanımı ve uygulama esnasında yüksek bıçak dönüşü sayısı (BRN) değerleri ile çalışılması önerilmektedir.

Bu uygulamadan elde edilen tecrübeye; çalışılan Trakya zeminlerinde, siltli killi kum tabakalar ile kil zeminlerde 300 çimento dozajı ve BRN $\approx$ 200-250 için kullanılan ekipman ile iyileştirme sonrası hedef dayanım değerlerine ulaşılabilmiştir. Ancak bu değerler ile organik killer içerisinde hedeflenen dayanım değerleri elde edilemediği gibi alınan numunelerde zeminde homojen bir karışım sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Tüm bu gözlemlerden hareketle; derin karıştırma uygulaması esnasında kolon bütünlüğünü koruyabilmek için tabakalı zeminlerde, geçilen tabakanın zemin yapısına uygun ekipman seçilmeli ve gerekmesi halinde BRN değeri her katman için farklı seçilmelidir.

Çeşitli kaynaklarda organik içerikli zeminlerde BRN değerinin 350 üzerinde seçilmesi gerektiği hatta bazı kaynaklarda minimum 500 olması gerektiği belirtilmiştir. Saha uygulamasından elde edilen tecrübeler ışığında özellikle bu tip zeminlerde mümkün olduğu kadar yüksek BRN değeri seçilmesi yanında, zemine kesme uygulayabilen uygun karıştırma bıçakları ve uygun püskürtme ekipmanlarının seçilmesinin büyük önem taşıdığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Alhamdi K.A., ve Albusoda B.S. (2021), "A Review on Deep Mixing Method for Soil Improvement", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1105-012110.
- Arasan, S., Işık, F., Akbulut, R. K., Zaimoğlu, A. S., Nasirpur, O. (2015), "Rapid Stabilization of Sands with Deep Mixing Method Using Polyester", Periodica Polytechnica Civil Engineering, Vol 59(3), 405-411.
- Bruce, D.A. (2001), "Practitioner's Guide to the Deep Mixing Method", Ground Improvement, Vol 5 (3), 95-100.
- Chen, J., Lee, F. H., & Ng, C. C. (2011), "Statistical Analysis for Strength Variation of Deep Mixing Columns in Singapore" Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering, 576-584.
- Chen, E. J., Liu, Y., & Lee, F. H. (2016), "A Statistical Model for the Unconfined Compressive Strength of Deep-Mixed Columns", Géotechnique, Vol 66(5), 351-365.
- Fang, Y. S., Chung, Y. T., Yu, F. J., & Chen, T. J. (2001), "Properties of Soil-Cement Stabilised with Deep Mixing Method", Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 5(2), 69-74.
- FHWA (2000), "An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications", U.S Federal Highway Administration, Publication No: FHWA-RD-99-138.
- FHWA (2013), "Deep Mixing for Embankment and Foundation Support", U.S Federal Highway Administration. Publication No: FHWA-HRT-13-046.

Hayward Baker Company (2010), Katalog.

Horpibulsuk, S., Miura, N., Koga, H., & Nagaraj, T. S. (2004), "Analysis of Strength Development in Deep Mixing: a Field Study", Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 8(2), 59-68.

Kitazume, M., ve Masaaki T. (2013), "The deep mixing method", CRC Press.

Liu, S. Y., Zhang, D. W., Liu, Z. B., & Deng, Y. F. (2008), "Assessment of Unconfined Compressive Strength of Cement Stabilized Marine Clay", Marine Georesources and Geotechnology, Vol 26(1), 19-35.

Lorenzo, G. A., & Bergado, D. T. (2006), "Fundamental Characteristics of Cement-Admixed Clay in Deep Mixing", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol 18(2), 161-174.

Park, C. S., Kim, J. H., Kim, J. J., & Baek, J. S. (2014), "An Experimental Study on the Strength of Deep Mixing Specimen According to the Stabilizer Content", Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol 30(1), 27-36.

Stevens, J. (1982), "Unified Soil Classification System", Civil Engineering—ASCE, Vol 52(12), 61-62.

Terashi M. (1997), "Deep Mixing Method-Brief State-of-the Art", 14th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hambourg.

Topolnicki, M. ve Pandrea, P. (2012), "Design of In-situ Soil Mixing", International Symposium of ISSMGE - TC211, Recent Research, Advances & Execution Aspects of Ground Improvement Works, Brussels, Belgium.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
BRN	Bıçak dönüş sayısı	CL	Düşük plastik kil
qu	Tek eksenli basınç dayanımı	SC	Killi kum
SM	Siltli kum	OH	Yüksek plastik organik kil
w/c	Su çimento oranı	USCS	Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemi