



Elektroosmoz ve Isıl İşlemler Yöntemleri İle Zeminlerin İyileştirilmesi ve Stabilizasyonu

Mehmet Hayrullah AKYILDIZ*

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
hayrullah.akyildiz@dicle.edu.tr

Geliş: 10.05.2019, Revizyon: 08.08.2019, Kabul Tarihi: 05.09.2019

Öz

Elektroosmoz yöntemi, ince taneli yumuşak kil ve silt gibi zeminlerde dayanım artımı ve deformasyon özelliklerinin ıslahı üzerinde yaklaşık 50 yıldır başarılı bir şekilde uygulanan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, anot ve katot olarak belirlenen noktalar arasına doğru akım verilerek ıslahı istenen problemleri bir zemin ortamında, boşluk suyunun anottan (+) katoda (-) doğru hareketinin sağlanması şeklinde uygulanır. Bu uygulamada katotta toplanmaya başlayan su, dışarı pompalanır ve anota gelebilecek suyun önü kesilirse bu durum boşluk suyunun belirli bir zamanda tahliyesiyle bir konsolidasyon mekanizması kurulmuş olur. Uygulamanın, doygun silt ve siltli killerin normal konsolide olması ve boşluk suyu eriyik oranının düşük olması halinde verimli olabileceğinin de belirtilmesinde yarar vardır. Bu uygulama sırasında anottan katoda doğru bir su akımı oluşacağından anot tarafına stabilizasyon artırıcı ve istenilen özelliklere sahip sıvılar bırakılırsa zeminde ek bir kimyasal stabilizasyon da söz konusu olacaktır.

Isıl işlemlerden dondurma yöntemi ilk defa 100 yıl önce kullanılmaya başlanmıştır. Metotta, zemin içindeki su donuncaya kadar soğutulur böylece daha büyük dayanıma sahip geçirimsiz bir zemin elde edilir. Donmuş zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri donmamış zeminlere oranla daha yüksektir. Kısa süreli zemin iyileştirmesi gereken durumlarda bu yöntem kullanılabilir. Dolayısıyla dondurma yöntemi, şevlerin stabilitesinin kısa süreli sağlanmasında, temel çukurunun kuru tutulması gereken durumlarda vb. kullanışlı bir yöntemdir.

Isıl işlemlerden ısıtarak iyileştirme yöntemi ise zeminlerin kayma direnci parametreleri buldukları kıvam ile yakından ilgilidir. Kıvamlarının likit limite yakın olmaları halinde kayma dirençleri son derece azalmaktadır. Ortamdaki suyun azaltılması zeminin yüksek sıcaklıkta ısıtılması ile sağlanabilir. Killer 400-600 °C'ye kadar ısıtıldığında silikatlaşmakta ve 900 °C'de klinkere dönüşerek faz değiştirir. Bu durumda killer bünyelerine rutubet alamayacak kadar değişikliğe uğramaktadırlar.

Anahtar kelimeler: Elektroosmoz, İnşaat Mühendisliği Uygulamaları, Isıl işlemler, Dondurma Yöntemi, Isıtarak İyileştirme

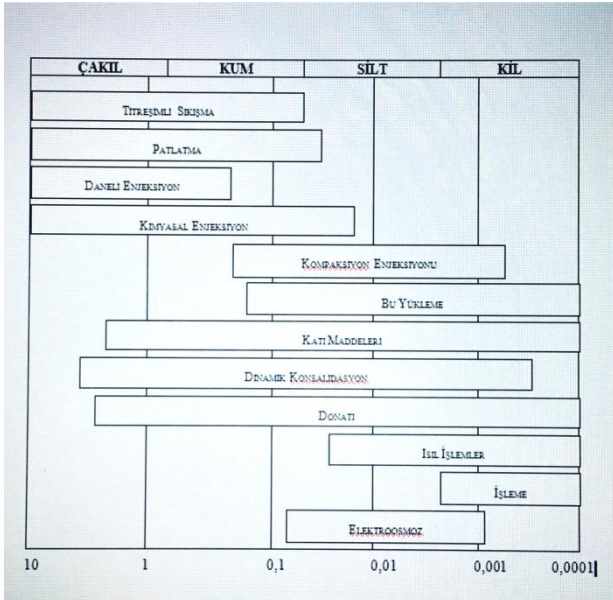
* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Elektroosmoz Yöntemi

İlk kez 1808 Yılında Rus bilim insanı Ruess tarafından denenmiş olan bu yöntem daha sonra Leo Casagrande(1967) tarafından geliştirilmiş ve Bjerrum ve ark.(1967), Hansbo(1970), Chappel ve Burton(1975) konu ile ilgili araştırmalar yapmış ve oldukça başarılı sonuçlar almışlardır. Çizelge 1'de elektroosmoz yöntemini diğer ıslah yöntemleri ile mukayesesi ve uygulanabilirlik sınırları gösterilmiştir.

Çizelge 1 Islah yöntemlerinin uygulanabilirlik sınırlarının karşılaştırılması [G.Üniv. Müh. Mim. Fak. Murat Mollamutoğlu Ders Notları]



Yukarıda sözü edilen zemin kayma ve basınç dayanımlarında artış, düşey boyutlarında bir azalma(oturma) şeklinde kendini gösteren elektroosmoz konsolidasyonuna ek olarak anot ve katot arasında uygulanan doğru elektrik akımı;

1. İyon değişimi
2. Elektrotlar yakınında zemin taneciklerinin elektrokimyasal ayrışması
3. Zemin taneciklerinin kristal yapılarında bazı değişimlere de neden olabilmektedir.

Bunlara kısaca elektroosmoz stabilizasyonu denir.

Islahı istenen zeminlerde uygulanan doğru akım sırasında, zemin taneciklerinin etrafını kuşatan

yaygın çift katman üzerinde bulunan katyonlar, elektron kazanmak üzere katoda doğru hareket eder ve katot ta elektriksel yükten arınmış olur.

Aynı anda sistemde serbest kalan anyonlar da anota doğru hareket ederler. Katyonlar bu hareketlerinde beraberlerinde su moleküllerinide taşırlar. Bu taşıma işlemi, su moleküllerinin dipol özelliğinden dolayı gerçekleşebilmektedir. Bu arada anyonlarda hareketleri sırasında az miktarda suyu yanında götürmekle birlikte, sonuç olarak katotlara doğru net bir su akışı olur.

ISIL İŞLEMLER

1-Dondurma

Dondurulmuş zemin gövdesinin korunması için sürekli soğutmaya (enerji harcamaya) gerek vardır. Dondurma yöntemi hemen hemen tüm zemin türleri için kullanılabilir. Kendini kısa süreli de olsa tutamayan zeminlerde, açılacak temel çukurlarında veya tünel inşaatlarında boşluk suyu dondurularak kazı kesitinde geçici olarak stabilite sağlanır. Boşluk suyunun dondurulması ile oluşan buz mercikleri zeminin kayma mukavemetini ve rijitliğini artırır. Dondurma işlemi, su muhtevası %50'ye kadar olan hemen hemen her cins zeminde uygulanabilmektedir. Yer altı suyunun hareketli olması durumunda bu teknik uygulanmaz.

Dondurma teknolojisi, zemine sokulan dondurma boruları içinden soğuk taşıyıcı akışkan dolaştırılarak zemin suyunun dondurulması için iç içe geçen iki borudan gönderilerek dış borudan geri alınır. İç boru ile dış boru arasındaki dolaşım sonucu, dondurma borusu etrafındaki zemin dondurulur. Soğutma maddesi genellikle amonyak(NH₃) ve karbondioksit(CO₂), soğuk taşıyıcı akışkan olarak ta genellikle magnezyum(Mg) veya kalsiyumklorür (CaCl₂) kullanılır.

Zemin destek ve kazı işlerinin yapılacağı yerlerde sondaj yöntemi ile delinir ve borular indirilerek dondurma tekniğinin tipine göre sistem kurulur. Planlı bir şekilde açılan delikler etrafında tekniğe göre belirli bir çapta donmuş zemin oluşur. Likit nitrojen veya karbondioksit kullanılan sistemler birkaç saatte etkili olabildiğinden acil durumlarda tercih edilmektedir. Klasik soğutucu devrelerde günlerce veya haftalarca beklemek gerekir.

Dondurma tekniğinde iki ana problem vardır, Önce ortamın ısı özelliklerinin ölçümü gerekir. Daha sonra dondurulmuş ortamın alacağı gerilmeler altında kazı ve yapım sırasında dengede kalıp kalmayacağı yeni gerilme-şekil değiştirme bağıntıları da kestirilmelidir.

İdeal uygulama yumuşak zemin koşullarında yer altı su seviyesinin altında ve 7-8 m. derinliklerde yapılır.

Başarılı bir dondurma işlemiyle kazının güvenlik altına alınması kısa süre için yeterli sayılabilir. Yapılan araştırmalarda zemin-su-buz karışımının geçici yüklere direncinin büyük olduğu ancak uzun vadede sönümlülük nedeniyle çok daha düşük gerilmeler alabileceğini ortaya koymuştur.

2-Isıtarak İyileştirme

Zeminlerin ısı ile iyileştirilmesi özellikle lös(kil,silt) zeminlerde uygulanmaktadır. İyileştirme bölgesine açılan sondaj deliğinden basınçlı hava ve yakıt ağızından kaçmayacak şekilde basılır. Böylece delik içerisinde sıcaklığın 300-1000 °C'ye ulaştığı bir bölge oluşur. Deliğin çevresinde artan ısı nedeniyle bünyedeki su atılmakta ve zemin iyileşmektedir. Silt ve killer ortamın sıcaklığının olağan limitler üzerine çıkarılmasıyla kayma direnci parametreleri arttırılarak zemin iyileştirilmektedir.

Isı uygulaması ile iyileştirilmekte olan doğu bloğu ülkelerinde sıklıkla kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık; elektrotlar kullanılarak elektrik akımı ile ya da benzin alevi yardımıyla sağlanır. Uygulamaya ısı kayıplarının önlenmesi için kuyu ağızı kapatılır.

Uygulama; kompresörden 1,5 atm basınçla gelen hava petrol tankına basılır. Yakıt filtreden süzülüp pompa ve giriş borusu ile kuyu içine verilir. Uygulama kuyuların yerleri, aralıkları ve derinliklerinin belirlenmesi arazi deneyleri ile yapılmalıdır.

Materyal ve Yöntem

Elektroosmoz nedeniyle ortaya çıkan ve zeminden alınması gereken su miktarı, su moleküllerini harekete zorlar ve elektriksel kuvvetler ile harekete karşı yönde oluşan ve doğal su moleküllerinin, ince zemin taneciklerinin arasından geçerken ortaya çıkan

sürtünme direncine eşitlenmesi sonucu belirlenebilir. Buna göre, iki elektrot arasında oluşan akım, voltaj eğimi (gradiyeni) yönünde su akış hızına sahip olabilir.

$$Ve = -k \frac{\partial E}{\partial x} \quad (1)$$

Burada; Ve : Akış hızı(m/s)

ke : Elektroosmotik geçirgenlik katsayısı (m/s volt/m)

E : İki elektrot arasında gerilim (volt)

X : Katottan itibaren mesafe (m)

$\frac{\partial E}{\partial x}$: Elektriksel potansiyel eğimi (volt/m)

Hız denklemi hesaplandıktan sonra iki elektrot arasında akan su miktarı;

$$q = ke . ie . A \quad (2)$$

$$q = Ve . A = k \frac{\partial E}{\partial x} . A \quad (2')$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;

q : Akımın debisi (m³/sn)

$\frac{\partial E}{\partial x}$: Elektriksel potansiyel eğimi (volt/m)

A : Akımın oluştuğu kesit alanı (m²)

Bu eşitlik, laminer hidrolik akımlardaki Darcy ifadesine benzetebilir. İnce taneli zeminlerin bünyesinde bulunan kapiler akım iplikçiklerinin toplamı dikkate alınarak, elektroosmoz yönteminde geçirgen katottan boşaltılacak su miktarı bulunabilmektedir. Bu yaklaşımla, elektroosmotik geçirgenlik katsayısı k_e , hidrolik geçirgenlik katsayısı k_h 'a tekabül ettiği düşünülebilir.

Yukarıda belirlenendebi, aynı zamanda zemine verilen akımın ve buna bağlı geçirgenlik katsayısı k_i 'nin fonksiyonu olarak da ifade edilebilir.

$$q = k_i . I \quad (3)$$

Burada:

q : Akımın debisi (m³/sn)

k_i : Elektrik akımına bağlı hidrolik geçirgenlik katsayısı (m³/sn/amp)

I : Zemindeki elektrotlara verilen akımın şiddeti (amp)

Elektrosmotik geçirgenlik katsayısı k_e , elektrik akımına bağlı hidrolik geçirgenlik katsayısı k_i 'nin bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir.

$$k_i = \frac{k_e}{\delta} \quad (4)$$

Burada;

δ : Özgül elektriksel iletkenliktir.(mho/m)

δ 'nın değerleri, 0.02(düşük tuz oranlı ortam) ile 0.3(tuzlu zemin suyu) arasında değişmektedir.

k_i değerleri ise (çizelge 2)'de verilmiştir.

Çizelge 2 Elektrik akımına bağlı hidrolik geçirgenlik katsayısı değerleri (su kapsamı %50-100 arasında)[Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Ders Notları]

ZEMİN TİPİ	BOSLUK SUYU TUZ KONSANTRASYONU (N)	K_i M ³ /SN/SMP
SİTLİ KNOLİNİT	10 ⁻³	10 ⁻⁵ X 10 ⁻⁷
SİTLİ KLOMİNİT	10 ⁻²	5X10 ⁻⁴ -1X10 ⁻²
İLLİT KİL	10 ⁻¹	3X10 ⁻⁶ -6X10 ⁻⁸
İLLİT KİL	10 ⁻²	2X10 ⁻³ -3X10 ⁻⁴

Uygulamada kullanılan doğru akım jeneratörünün gücü;

$$P = q \frac{\Delta E}{k_i} 10^{-3} \quad (kwh) \quad (5)$$

Burada;

ΔE : Elektrotlar arasındaki voltaj düşümüdür.

Elektrosmoz yönteminin, zemin kayma direnci ve sertlik özelliğinin ıslahında kullanılmamasındaki amaç, su muhtevasının azaltılmasıdır. Bu da ancak geçirimsiz anot ve pompaj yoluyla da olsa drenajı sağlanmış olan (geçirimli) katot uygulaması ile mümkün olabilmektedir. Anottan, katoda doğru akmakta olan su anot çevresindeki zeminin boşluklarında, negatif boşluk suyu basıncı oluşturur. Anot çevresindeki zemin taneleri arasında bulunan suyun basıncı, zamanla akış nedeniyle negatif değerler almaya başlayarak, ortaya çıkan etkin gerilme artışı (5) ile belirtilen bir konsolidasyon oturmasına neden olacaktır.

$$\delta c = \sum_v \Delta \sigma_{v_i} \cdot h_i \quad (6)$$

Burada ortaya çıkan hidrolik eğim, anot yönüne doğrudur ve osmotik akış, hidrolik akışa zıt doğrultudadır. Akış sırasında boşluk suyu basıncının negatif değeri arttıkça, anottan katoda doğru olan su akışı azalır ve bir denge noktasında durur.

Daha kaba taneli topraklarda etkin gerilmelerdeki artış oldukça az olmasına karşılık, ince taneli topraklarda ortaya çıkan etkin gerilme nispeten daha fazladır. Fakat bu şekilde büyük gerilme değerleri elde edilebilmesi için geçen süre oldukça uzundur. Bu yöntemle elde edilebilecek konsolidasyon zeminin sıkışabilirliğine bağlıdır ve bu nedenle söz konusu yöntem aşırı konsolide killerde pratik olarak uygulanamaz. Bu durumda, belirli bir sürede meydana gelecek negatif boşluk suyu basıncı optimum konsolidasyon koşullarını belirleyebilecek bir faktör olarak karşımıza çıkacaktır.

Yukarıdaki koşulları sağlayan zemin ortamı; normal konsolide siltli killi zeminlerdir. Bütün bu koşulların yanında boşluk suyunun elektriksel geçirgenliğide yöntemin başarılı uygulanması için önemli bir faktördür. Elektriksel geçirgenlik çok yüksekse eğer (ortamın tuz konsantrasyonu yüksekse) elektrotlar arasında uygulanan voltaj düşüşü çok ani olmakta veya diğer bir ifadeyle elektriksel eğimin sabit tutulması için çok fazla elektrik akımı gerekebilecektir. Bu da oldukça yüklü bir elektrik masrafına sebep olacaktır.

Çizelge 3 Elektrosmotik geçirgenlik katsayısı k_e ile hidrolik geçirgenlik katsayısı k_h ın karşılaştırılması [Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Ders Notları]

ZEMİN CİNSİ	SU KAPAN.. %	$\frac{k_e \times 10^{-5}}{sn} \cdot v$	$\frac{k_h}{cm/sn}$	$\frac{k_a}{k_h} n/v$
LONDRA KİLİ	52,3	5,8	10 ⁻⁸	6,0
KNOLİN	67,7	5,7	10	0,6
KİLLİ SİLT	31,7	5,0	10	0,05
KAYA ÜNU	27,2	4,5	10	0,045
<i>Na – Nontmorillonit</i>	170,0	2,0	10	20,0
<i>Na – Nontmorillonit</i>	1000,0	12,0	10	12,0
MİKA TOZU	49,7	6,9	10	0,007
İNCE KUM	26,0	4,1	10	0,0004
KUVARZ TOZU	23,5	4,3	10	0,0004

Konsolidasyon zamanının belirlenmesi

Etkin gerilmenin ortaya çıkması için gerekli zamanın belirlenmesi amacıyla hidrolik ve elektroosmotik akışlar bileşke hızı teşkil etmek üzere süperpoze edilerek;

$$-v = \frac{kh}{\alpha_w} \frac{\partial u}{\partial x} + ke \frac{\partial E}{\partial x} \quad (7)$$

(Şekil 2)de boşluk basıncının değişimi görülmektedir. Analizler sonucunda, boşluk suyu basıncını değişimi, hidrolik geçirgenlik k_h ve zeminin kompresibilitesi (sıkıştırılabilirliği) ile hesaplanabilmektedir.

$$T_v = \frac{c_v t}{L^2} = \frac{k_h}{m_w \alpha_w} \frac{t}{L^2} \quad (8)$$

Esirg(1968)in analizlerine göre, geçirimsiz anotta maksimum negatif boşluk suyu basıncı;

$$u_{max} = -\frac{k_e}{k_h} E_o \alpha_w \quad (9)$$

Bu durumda, katodun geçirimli(sıfır boşluk basıncına sahip) olması gereklidir.

Buna göre etkin gerilmelerdeki değişimler, geçirgenlik kat sayılarının oranıyla belirlenebilmektedir.

Boşluk suyu basıncının bulunması için genel çözüm;

$$u = \left(\frac{k_e}{k_h}\right) \alpha_w E + \frac{2k_e \alpha_w E_o}{k_h \pi^2} f(T_v) \quad (10)$$

Burada;

$$f(T_v) = \sum_{n=0}^{n.o} \frac{(-1)^n}{(n+\frac{1}{2})^2} \sin \frac{(n+\frac{1}{2})\pi x}{L} e^{-(n+\frac{1}{2})^2 \pi^2 T_v} \quad (11)$$

Burada E, (Şekil 1) katottan X uzaklığında bulunan bir elektrik gerilimi (voltaj) değeri, E_o ise anot ve katot arasında uygulanan voltajdır. Ortalama konsolidasyon derecesi, anot ve katot arasındaki L uzaklığı üzerinde ortalama negatif boşluk suyu basıncıdır.

$$U_c = 1 - \frac{4}{\pi^3} \sum_{n.o} \frac{(-1)^n}{(n+\frac{1}{2})^3} e^{-(n+\frac{1}{2})^2 \pi^2 T_v} \quad (12)$$

Bu analiz, anot ve katot levhalarının birbirinden L uzaklıkta bulunmaları hali için yapılmıştır. Akım verilmesinden belirli bir süre sonra, etkin gerilmedeki değişim anottan geçirgen (sıfır boşluk basıncına sahip) katoda olan mesafenin artışı ile azalmaktadır.

(11) nolu eşitlikte de belirtildiği gibi, negatif boşluk basıncının gelişim hızı hidrolik geçirgenlik k_h ve düşey kompresibilite katsayısı m_v 'nin bir fonksiyonudur ve elektroosmotik geçirgenlik katsayısı k_e 'ye bağlı değildir.

BULGULAR

Elektroosmotik konsolidasyon yönteminin arazide uygulanması;

2-4 m. aralıklarla çubuk ve boru elektrotların çakılmasıyla gerçekleşir. Değişik şekillerde düzenlenmiş elektrot yerleştirme tipleri görülmektedir. Burada elektrik akımının farklı elektrot düzenlemeleri için değişik analizler yapılmış ve belirtilen hegzagonal dizilişin en ekonomik düzenleme olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4 Farklı elektrot diziliş modelleri

	DÜZ KARE DİZİLİŞ	KARIŞIK KARE DİZİLİŞ	HEGZAGONAL DİZİLİŞ
ALAN / TEMEL ÜNİTE	2s ²	2 ² δ	2.6 δ ²
ANOT/TEMEL ÜNİTE	1	1	2
KATOT/ BİRİM ALAN	0,5 δ ²	0,5 δ ²	0,38 δ ²
ANOT/ BİRİM ALAN	0,5 δ ²	0,5 δ ²	0,38 δ ²
ORTALAMA VOLTAJ, V	0,5 v	0,5 v	0,74 v
GÜÇ/ BİRİM ALAN (AYNI V İÇİN)	0,53 $\frac{V^2}{p} / S^2$	0,60 $\frac{V^2}{p} / S^2$	0,60 $\frac{V^2}{p} / S^2$
GÜÇ/ BİRİM ALAN (AYNI V İÇİN)	2,10 $\frac{V^2}{p} / S^2$	2,40 $\frac{V^2}{p} / S^2$	1,10 $\frac{V^2}{p} / S^2$

Buna göre; hegzagonal dizilişte

- Maksimum enerji tasarrufu sağlanır
- Yüksek değerde ortalama voltaj elde edilir(ortalama voltaj ne kadar yüksekse, o derece etkin bir konsolidasyon sağlanır).
- Anot/katot oranı optimumdur.

Bunlara ilave olarak, elektro osmotik konsolidasyon sırasında ortaya çıkan zemin özelliklerindeki bazı değişimler(ort:ke/kh oran

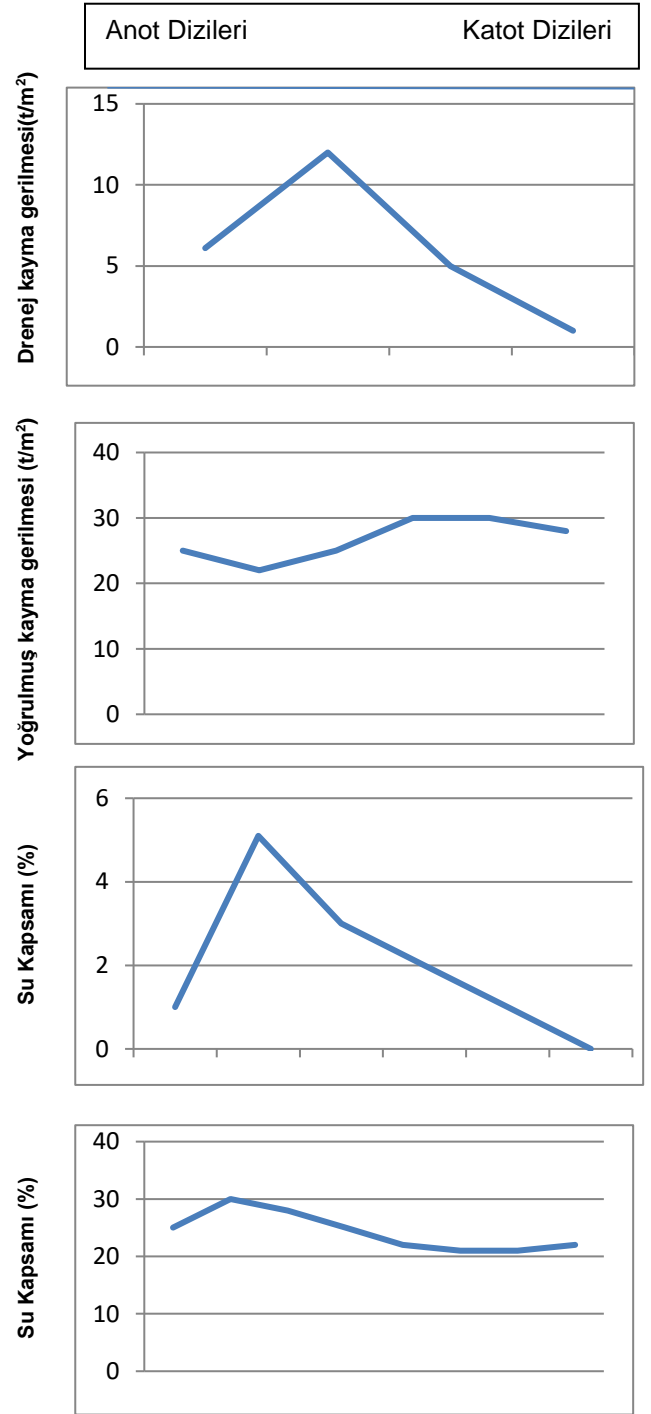
gibi) teorik uygulamadan sapmalara yol açabilmektedir(Mitchel ve Man, 1977). Bununla birlikte (Çizelge 5) değerleri konsolidasyon zamanının yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılabilir.

Çizelge 5 Paralel plaka elektrotlarla zaman faktörü T_v ve farklı konsolidasyon yüzdeleri U değerleri arasındaki bağıntı [Doğu, O., 2005.]

KONSOLIDASYON DERECESESİ	ZAMAN FAKTÖRÜ T_v	
	LİNEER DEĞİŞİM	BAŞLANGIÇTA SONSUZ EĞİM (i)
0	0	0
10	0,05	0,001
20	0,10	0,007
30	0,16	0,017
40	0,22	0,020
50	0,29	0,05
60	0,38	0,07
70	0,50	0,10
80	0,66	0,14
90	0,20	0,20

Katotlara bağımlı anotların sayısındaki artış iki açıdan elverişlidir. Hassas killer üzerinde yapılmış olan bir elektroosmotik konsolidasyonun olumlu etkileri görülebilmektedir(Bjerrum ve ark. 1967)

Zemin özelliklerindeki ıslahla ilgili değişimlerin anottan katoda doğru uzaklaştıkça azaldığı kolaylıkla izlenebilir



Şekil 1 Hasas killer üzerinde yapılmış bir elektro osmotik konsolidasyon örneği sonuçları[Doğu, O., 2005.]

Sonuçlar ve Tartışma

Günümüze kadar arazide yapılan uygulamalar aşağıdaki koşullarda elektroosmotik konsolidasyonun etkin ve ekonomik bir ıslah yöntemi olabileceğini göstermektedir.

- 1.Suya doygun sitler veya siltli zeminler,
- 2.Normal konsolide zeminler,
- 3.Düşük boşluk suyu elektrolit konsantrasyonlarına sahip zeminler

Kaynaklar

- Bowles, E. J., 1988, "Foundation Analysis and Design", McGrawhill International Editions, Civil Engineering Series, 4th Edition, p: 288-300, Singapore
- Chao, K. H., and Chin, K. Y., 1963, "The Study of Improving Bearing Capacity of Tapei Silt by Using Quickline Piles", Proceedings of the 2nd Asian Regional Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, p: 387-389, Tokyo.
- Doğu, O., 2005. Jetgruting Tekniği ile Zemin Islahı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., İnşaat Müh. Anabilim dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 128s.
- G.Üniv. Müh. Mim. Fak. Murat Mollamutoğlu Ders Notları
- G.Üniv. Müh. Mim. Fak. Yrd. Doç. Dr. Fahri Özbayoğlu Ders Notları
- Koerner, R., M., 1997, "Designing with Geosynthetics", 4th Edition, Prentice Hall.
- Leonards, G.A., 1962. Foundation Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1136 pp.
- Rixner, J. J., Kraemer, S. R. And Smith, A. D., 1986. Prefabricated Vertical Drains: vol. 1 Engineering Guidelines, FHWA/RD-86/168, FHWA, Springfield, Virginia.
- Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Ders Notları

Elektrotlardaki gaz oluşumu, kuruma, çatlama söz konusu yöntemin etkinliğini azaltmakta ve oluşacak konsolidasyon basıncının değerini sınırlandırmaktadır. Elektrotlar arasında uygulanan voltaja ve zaman zaman ortaya çıkan voltaj değişimlerine bağlı olarak üniform olmayan ve yer yer değişim gösteren ıslah sonuçları ortaya çıkabilmektedir. Bu gibi durumlarda anot ve katodun yeri değiştirilerek daha üniform bir konsolidasyon temin edilmesi söz konusu olabilir.

Terzaghi, K. 1943. Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.

Improvement and Stabilization of Soils by Electroosmosis and Heat Treatment Methods

Keywords: *Electroosmosis, Civil Engineering Applications, Heat Treatments, Freezing Method, Heating Improvement*

Extended abstract

The electroosmosis method is one of the methods that has been successfully applied on the improvement of strength and deformation properties on fine grained soft clay and silt soils. This method is applied in the form of a correct ground flow between the points determined as anode and cathode and provides correct movement of the gap water from the anode (+) to the cathode (-) in a problematic ground environment. In this application, the water that starts to collect in the cathode is pumped out, and if water is cut off to the anode, a consolidation mechanism is established by evacuating the gap water at a certain time. It should be noted that the application may be efficient if the saturated silt and silty clays are normally consolidated and the pore water melt rate is low. During this application, an anodic water flow from the anode to the anode side stabilization enhancer and the desired properties of the liquid is left an additional chemical stabilization of the floor will be in question.

The freezing method from heat treatment was first used 100 years ago. In the method, water in the ground is cooled to freeze so that an impermeable floor with greater strength is obtained. The shear strength parameters of the frozen floors are higher than the untreated soils. This method can be used when short-term ground improvement is required. Therefore, the freezing method, the stability of the slope in the short-term provision, where the basic pit should be kept dry and so on. is a useful method.

If the heat treatment is improved by heating, the sliding resistance parameters of the floors are closely related to the consistency. If the consistency is close to the liquid limit, the shear resistance is very low. Reducing water in the environment can be achieved by heating the floor at high temperature. Clays are silicified when heated up to 400-600 °C and phase change by turning to clinker at 900 °C. In this case, clays are subject to changes so that they do not get moisture.