

KAYA TUZUNUN ENJEKSİYON SIVISI AKMA SÜRESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN TAGUCHİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ROCK SALT ON GROUT FLOW TIME BY THE TAGUCHI OPTIMIZATION METHOD

Ahmet Şahin Zaimoğlu¹, Elif AYIK KILIÇ², Fatih ARTUK³

ÖZET

Enjeksiyon zemin ve/veya kayalarda bazı mühendislik özelliklerini (taşıma gücü, deformasyon, sıvılaşma, geçirimsizlik vb.) iyileştirmek amacıyla uygulanan zemin iyileştirme yöntemlerinden birisidir. Enjeksiyon sıvısının reolojik özellikleri (akma süresi, çökme vb.), enjeksiyonun başarılı olmasında önemli etkenlerdendir. Enjeksiyon sıvısının reolojik özellikleri temas ettiği ortamlara (kaya tuzu vb.) bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çalışmada kaya tuzunun, enjeksiyon sıvısının akma süresi üzerindeki etkileri Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile araştırılmıştır. Bu amaçla Taguchi Optimizasyon Yöntemi' ne göre 3 parametrelili, 4 seviyeli L16 deney tasarım tablosu kullanılmıştır. Taguchi Optimizasyon Yöntemi'nde su/çimento oranı, kum yüzdesi ve kaya tuzuna doygunluk yüzdesi parametre olarak seçilmiş ve seviyeleri sırasıyla 0,8-1,0-1,2-1,4, %0-%25-%50-%100 ve %0-%25-%50-%100 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre enjeksiyon sıvılarının akma süresi üzerinde en etkili parametrenin su/çimento oranının olduğu belirlenmiştir. Su/çimento oranının 4. seviyesi, kum yüzdesinin 2. seviyesi ve kaya tuzuna doygunluk yüzdesinin 1. seviyesi kullanıldığında akma süresinde minimum değerin 30,9 sn ile elde edileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akma süresi, kaya tuzu, Taguchi Optimizasyon Yöntemi, zemin enjeksiyonu

ABSTRACT

The injection is one of the soil improvement methods applied to improve some engineering properties (bearing strength, deformation, liquefaction, permeability, etc.) in soil and/or rocks. The rheological properties of the grout (flow time, bleeding, etc.) are important factors in the success of the injection. The rheological properties of the grout vary depending on the environments (rock salt, etc.) it comes into contact with. In the study,

¹ Profesör Doktor, Atatürk Üniversitesi, e-posta: zaimoglu@atauni.edu.tr

² Araştırma Görevlisi, Erzurum Teknik Üniversitesi, e-posta: elif.ayik@erzurum.edu.tr (Sorumlu yazar)

³ Araştırma Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, e-posta: fatih.artuk@atauni.edu.tr

the effects of rock salt on the flow time of the grout were investigated using the Taguchi Optimization Method. For this purpose, a 3-parameter, 4-level L16 experimental design table was used according to the Taguchi Optimization Method. In the Taguchi Optimization Method, water/cement ratio, sand percentage, and rock salt saturation percentage were

selected as parameters and their levels were 0.8-1.0-1.2-1.4, 0-25%-50%-100%, respectively and 0%-25%-50%-100%. According to the test results, it was determined that the most effective parameter on the flow time of the grouts was the water/cement ratio. It was observed that when the 4th level of the water/cement ratio, the 2nd level of the sand percentage, and the 1st level of the rock salt saturation percentage are used, the minimum value in the flow time will be obtained with 30.9 seconds.

Keywords: Flow time, rock salt, Taguchi Optimization Method, soil injection

1. GİRİŞ

Çimento bazlı enjeksiyon sıvıları, 1800'lerden bu yana yaygın olarak kullanılmaktadır. (Lim et al. 2013). Enjeksiyon bir katkılı stabilizasyon yöntemi olup, boşlukların, çatlakların ya da gözeneklerin içerisine, karışımların (enjeksiyon sıvılarının) enjeksiyonu veya zemin-çimento birleşimini oluşturmak için zemin içerisine yüksek basınçla çimento karışımlarının enjekte edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Kim and Lee 2000). Enjeksiyon sıvısının reolojik özellikleri enjeksiyon işleminin başarılı olması açısından büyük öneme sahiptir. Bu özellikleri iyileştirmek amacıyla literatürde önemli çalışmalar yer almaktadır. Lim et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada enjeksiyon sıvılarında, su/çimento oranı arttıkça akma süresinin azaldığı ancak aynı su/çimento oranlarında dane gradasyonu küçüldükçe akma süresinin arttığı belirtilmektedir. Sha et al. (2018) bentonitin, enjeksiyon sıvılarının yayılma ve akıcılığını azalttığını, süper akışkanlaştırıcının etkisinin taze betonda uçucu küle benzer olup akıcılık ve yayılma yeteneğini artırdığını ifade etmektedirler. Tan ve Zaimoğlu (2004) bentonit ve silis dumanının, enjeksiyon sıvılarının akma süresi üzerinde artırıcı yönde etki ettiğini ve uçucu kül oranının artmasıyla akma süresinin azaldığını belirtmişlerdir. Anagnostopoulos (2005) farklı akrilik kauçukların kullanılması ile akma sürelerinde çok az bir azalma görüldüğünü ifade etmiştir. Literatürde enjeksiyon sıvısının reolojik özellikleri üzerinde birçok malzemenin etkisini inceleyen araştırmalar oldukça fazladır. Ancak enjeksiyon sıvısının geçtiği ortamların (kaya tuzu vb.) enjeksiyon sıvısının reolojik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması ile ilgili çalışma yok denecek kadar azdır.

Bu amaçla çalışmada, enjeksiyon sıvısının kaya tuzu tabakasından geçmesi durumunda tuzlu ortamın enjeksiyon sıvısının reolojik özelliklerinden akma süresi üzerindeki etkisi söz konusu edilmiştir. Taguchi Optimizasyon Yöntemi' ne göre 3 parametrelili, 4 seviyeli L16 deney tasarım tablosu kullanılmıştır. Taguchi Optimizasyon Yöntemi'nde su/çimento oranı, kum yüzdesi ve kaya tuzuna doygunluk yüzdesi parametre olarak seçilmiş ve seviyeleri sırasıyla 0,8-1,0-1,2-1,4, %0-%25-% 50-%100 ve %0-%25-%50-%100 olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada enjeksiyon sıvıları çimento esaslı olup, çimento, su, kum ve kaya tuzu ile hazırlanmıştır. Deney programı Taguchi Optimizasyon Yöntemi'ne göre yapılmış ve deney sonuçları yine bu yöntemle değerlendirilmiştir.

2.1. Materyal

Çimento

Çalışma da Erzurum Aşkale Çimento Fabrikası'ndan alınan CEM I 42,5 R türü çimento kullanılmış ve fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Priz Başlama Süresi	≥ 60 dakika
Genleşme	$\leq \% 10$ mm
2 Günlük Mukavemet	≥ 20.0 MPa
28 Günlük Mukavemet	≥ 42.5 MPa $\leq \% 62.5$ MPa
Kimyasal Özellikler	
Kükürt Trioksit (SO_3)	$\leq \% 4.0$
Klörür (Cl^-)	$\leq \% 0.1$
Kızdırma kaybı	$\leq \% 5.0$
Çözünmeyen kalıntı	$\leq \% 5.0$
Diğer Özellikler	
Özgül Yüzey (Blaine)	$3400 - 3900 \text{ cm}^2\text{gr}^{-1}$
Yoğunluk	$3.00 - 3.15 \text{ grcm}^{-3}$

Karışım Suyu

Enjeksiyon sıvılarında karışım suyu olarak Atatürk Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı şebeke suyu kullanılmıştır.

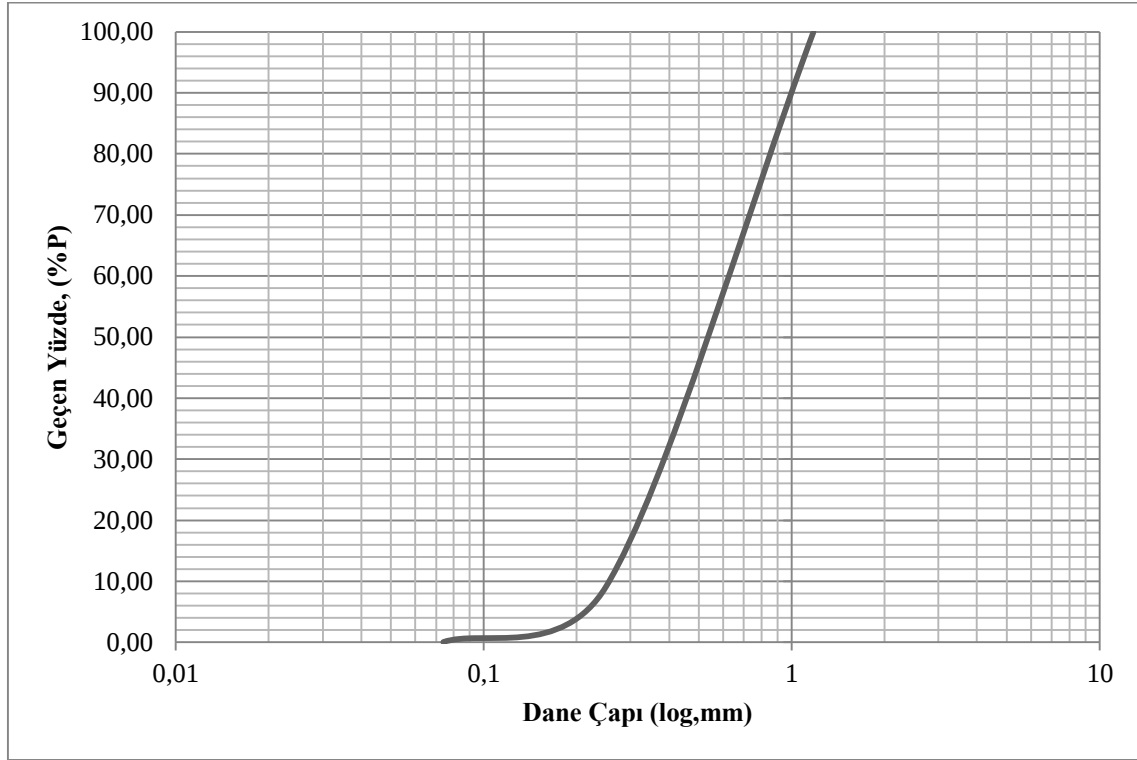
Kum

Deneylerde Erzurum ilinin doğusunda yer alan Horasan ilçesi kum ocağından elde edilen kum kullanılmıştır. Doğal halde temin edilen kum öncelikle yıkanıp 105°C sıcaklıkta etüvde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra DSİ Temel Sondaj ve Enjeksiyon Şartnamesi'ne (2016) uygun olarak 1,19, 0,29, 0,074 mm elek çaplarına sahip eleklerden elenmiştir. Kumun özelliklerini belirlemek için bazı laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler ile elde edilen özellikler Tablo 2' de, kum granülometri eğrisi ise Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 2. Deney kumuna ait bazı özellikler

Fiziksel Özellikleri	Değer	Fiziksel Özellikleri	Değer
γ_s (kN/m^3)	28	D_{30} (mm)	0,39
γ_{kmax} (kN/m^3)	16,7	D_{60} (mm)	0,62
γ_{kmin} (kN/m^3)	14,3	C_u	1,59
e_{max} (%)	0,96	C_c	0,94
e_{min} (%)	0,68	Zemin Sınıfı *	SP
D_{10} (mm)	0,26		

*USCS'ye (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) göre



Şekil 1. Deney kumu granülometri eğrisi

Kaya Tuzu

Deney karışımlarında kullanılan kaya tuzu Erzurum ilinde özel bir firmadan temin edilmiştir. Kullanılan kaya tuzunun çözünürlüğü ise Atatürk Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında ASTM E534-18 standardına uygun olarak yapılan çözünürlük deneyi ile 36/100 g/ml olarak bulunmuştur. Enjeksiyon sıvıları hazırlanırken kaya tuzu, karışım suyuna eklenerek belirlenen doygunluk seviyelerinde kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Enjeksiyon Sıvısının Hazırlanması

Karışımlar hazırlanırken öncelikle farklı kaya tuzuna doygunluk oranlarında karışım suyu hazırlanmıştır. Daha sonra enjeksiyon sıvıları Tablo 5' de verilen oranlarla ASTM C305-06 standardına uygun olarak hazırlanmıştır.

Marsh Hunisi Deneyi

Akma süresi, enjeksiyon sıvılarının reolojik özelliklerinden olup viskoziteyi yansıtan bir özelliktir. Akma süresini belirlemek için Marsh hunisi kullanılmaktadır. Marsh hunisine ait görsel Şekil 2'de gösterilmiştir. Marsh hunisinin alt çapı 5 mm, üst çapı 150 mm, yüksekliği 355 mm olup huni 1750 ml hacme sahiptir. Enjeksiyon sıvıları hazırlandıktan sonra Marsh hunisi deney düzeneğine sabitlenir. Hacim ölçekli kap huninin alt kısmına yerleştirilir. Huninin alt ucu kapatılır ve huniye torlu kısımdan enjeksiyon sıvısı dökülür. Huninin alt ucu açılarak kronometre başlatılır. 1000 ml'lik hacim dolana kadar kronometre ile süre ölçülür. Temiz su için bu süre 27-28 saniye olup dengeli bir karışım için bu süre 40 saniyedir (Çinicioğlu 1997).



Şekil 2. Akış Süresi Tayini (Marsh Hunisi)

Taguchi Optimizasyon Yöntemi

Bir ürün ya da deneyin sonuçları üzerinde farklı parametrelerin etkilerini belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile parametre ve parametre seviyelerinin fazla olmasından dolayı yapılması gerekli olan deney sayısı azaltılarak maliyet ve iş yükü azaltılmaktadır. Yöntemde deney tasarımı oluşturmak için çeşitli standart ortogonal dizinler kullanılmaktadır (Ayık Kılıç, 2020).

Oluşturulan tasarıma göre elde edilen deney sonuçları ile optimum durumun belirlenmesi, faktörlerin ayrı ayrı sonuca etkileri ve optimum koşullar altındaki durumun tahmini yapılabilir. Bu yöntemde; standart analiz ve S/N (signal to noise) analizi olmak üzere iki şekilde analiz yapılmaktadır (Zaimoğlu, 2003).

Çalışmada su/çimento oranı (S/C), kum yüzdesi (KY) (çimentonun kütlece yüzdesi), kaya tuzuna doygunluk yüzdesi (KTDY) parametre olarak seçilmiş, seçilen bu parametreler ve seviyeleri Tablo 3’de verilmiştir

Tablo 3. Çalışma için seçilen parametre ve seviyeleri

Seviye	Parametreler		
	F1	F2	F3
	S/C	KY	KTDY
1	0,8	0	0
2	1,0	25	25
3	1,2	50	50
4	1,4	100	100

Deneyler için seçilen, 3 parametrelili 4 seviyeli standart L16 ortogonal dizin Tablo 4’de verilmiştir. Belirlenen parametre ve parametre seviyelerine göre hazırlanan ortogonal dizin ise Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Standart L16 ortogonal dizin

Deney No	F1	F2	F3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	2
6	2	2	1
7	2	3	4
8	2	4	3
9	3	1	3
10	3	2	4
11	3	3	1
12	3	4	2
13	4	1	4
14	4	2	3
15	4	3	2
16	4	4	1

Tablo 5. Çalışmada kullanılan deney tasarımı

Deney No	F1 (S/C)	F2 (KY)	F3 (KTDY)
1	0,8	0	0
2	0,8	25	25
3	0,8	50	50
4	0,8	100	100
5	1,0	0	25
6	1,0	25	0
7	1,0	50	100
8	1,0	100	50
9	1,2	0	50
10	1,2	25	100
11	1,2	50	0
12	1,2	100	25
13	1,4	0	100
14	1,4	25	50
15	1,4	50	25
16	1,4	100	0

3. BULGULAR

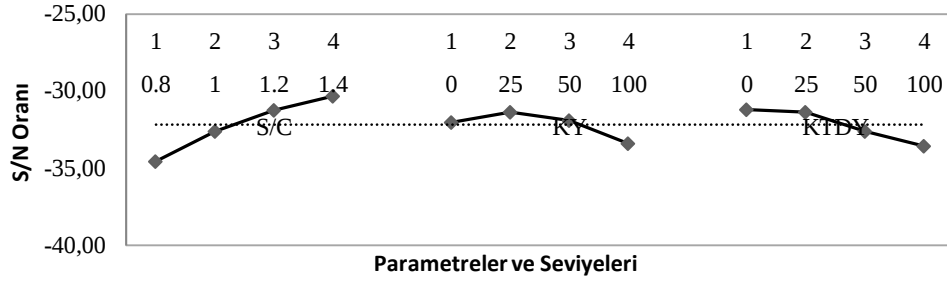
Deney sonuçlarından elde edilen akma süreleri ve S/N değerleri Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 6. Akma süreleri ve S/N değerleri					
Taguchi Deney Tasarımı				Akma Süresi (s)	S/N Oranı
	(L16)				
Deney No	F1 (S/C)	F2 (KY)	F3 (KTDY)		
1	0,8	0	0	45,44	-33,15
2	0,8	25	25	41,15	-32,29
3	0,8	50	50	52,79	-34,45
4	0,8	100	100	83,00	-38,38
5	1,0	0	25	41,29	-32,32
6	1,0	25	0	35,66	-31,04
7	1,0	50	100	44,30	-32,93
8	1,0	100	50	50,47	-34,06
9	1,2	0	50	38,11	-31,62
10	1,2	25	100	39,31	-31,89
11	1,2	50	0	33,04	-30,38
12	1,2	100	25	35,47	-31,00
13	1,4	0	100	35,83	-31,08
14	1,4	25	50	32,54	-30,25
15	1,4	50	25	31,08	-29,85
16	1,4	100	0	32,35	-30,2
Ortalama	S/N	Oranı			-32,18

Su/çimento oranı, kum yüzdesi ve kaya tuzuna doygunluk yüzdesinin, akma süresindeki etkilerini belirlemek için varyans (ANOVA) analizi yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Varyans (ANOVA) analizi						
Parametre	Serbestlik Derecesi (DOF)	Kareler Toplamı (S)	Varyans (V)	Varyans Oranı (F)	Net Toplam (S')	Oran P (%)
S/C	3	40,60	13,53	17,53	38,28	55,24
KY	3	9,07	3,02	3,92	6,75	9,75
KTDY	3	15,00	5,00	6,48	12,68	18,30
Diğer	6	4,63	0,77			16,71
Toplam	15	69,30				100,0

Parametre ve parametre seviyelerinin akma süresi üzerindeki etkilerini belirlemek için çizilen grafik Şekil 3’ de gösterilmiştir. Grafikteki yatay kesikli doğru ortalama S/N değerini göstermektedir.



Şekil 3. Parametreler ve seviyeleri – S/N oranı ilişkisi

Şekil 3 ve Tablo 7 birlikte incelendiğinde enjeksiyon sıvılarının akma süresi üzerinde en etkili parametrenin %55,24 değeri ile S/C olduğu ve S/C oranının artması ile akma süresinin azaldığı görülmüştür. Gökdemir (1999) ve Özarslan (2012) yapmış oldukları çalışmalarda elde ettikleri sonuçlar, bu sonuca paralellik arz etmektedir. Gökdemir (1999) ve Özarslan (2012) S/C oranının artmasıyla viskozitenin azaldığına dikkat çekmektedirler.

Enjeksiyon sıvılarında en az etkili parametre %9,75 değeri ile kum yüzdesi olup, kumun 2. seviyeye kadar bulunması akma süresini azaltırken bu seviyeden sonra akma süresi üzerinde olumsuz yönde etki ettiği Şekil 3'den anlaşılmaktadır. Lim *et al.* 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada kum dane boyutunun küçüldükçe akma süresinin arttığını ifade etmişlerdir. Bu sonuç bulunan sonuç ile benzerlik göstermektedir.

Kaya tuzuna doygunluk yüzdesinin arttıkça akma süresinin arttığı Şekil 3'den anlaşılmaktadır.

Bu sonuç tünel gibi önemli yapılarda, yapılacak enjeksiyonlarda kaya tuzu formasyonunun olması durumunda dikkatli olunması gerektiği ve enjeksiyon yapılmadan önce gerekli önlemlerin alınması hususunda uyarıcı niteliktedir. Aksi durumda kaya tuzu tabakasına yapılan enjeksiyonun akışkanlığının olumsuz yönde etkileneceği ve enjeksiyon performansın beklenenden çok düşük seviyelerde gerçekleşeceği aşikardır.

Optimum Akma Süresinin Belirlenmesi

Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile optimum akma süresi, S/C'nin 4. seviyesi, KY'nin 2. seviyesi ve KTDY'nin 1. seviyesi ile hazırlanacak enjeksiyon sıvısında (karışımında) elde edileceği belirlenmiştir. Bu karışımdan beklenen akma süresi ise 26,75 s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğunu belirlemek amacıyla doğrulama deneyi yapılmıştır. Optimum oranlar, beklenen değer ve doğrulama deney sonucu Tablo 8'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 8. Optimum deney koşulları ve beklenen değerler (Akma süresi)

Optimum Seviyeleri	Koşullardaki Parametre	Beklenen Akma Süresi (sn)	%90 güven Aralığı (sn)	Doğrulama Deney Sonucu (sn)
S/C	KY	KTDY		
1,4	25	0	23,23-30,79	30,9

Tablo 8 incelendiğinde optimum şartlarda beklenen akma süresinin, bu şartlarda yapılan doğrulama deneylerine ait akma süresine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile yapılan akma süresi tahmininin (beklenen değer) doğruluğunu ve deneylerde parametreler arasında önemli bir iç etkileşim olmadığını göstermektedir (Zaimoğlu 2003).

4. SONUÇLAR

Kaya tuzunun, enjeksiyon sıvılarının akma süresi üzerindeki etkilerini belirlemek için laboratuvarında bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- S/C oranının artması ile akma süresi azalmıştır.
- Enjeksiyon sıvılarında, kum yüzdesinin ikinci seviyesine (%25) kadar bulunması akma süresini azaltmıştır.
- Kaya tuzuna doygunluk yüzdesinin artması enjeksiyon sıvılarının akma süreleri üzerinde olumsuz yönde etki etmiştir.
- En iyi akma süresinin kaya tuzuna doygunluğun hiç olmadığı birinci seviyesinde gerçekleştiği gözlenmiştir.
- Akma süresi için S/C oranının dördüncü seviyesi (1,4), kum yüzdesinin ikinci seviyesi (%25), kaya tuzuna doygunluk yüzdesinin birinci seviyesi (%0) optimum durumu vermektedir.
- Optimum durumda hazırlanan enjeksiyon sıvısından beklenen akma süresi 26,75 s iken, doğrulama deneyi sonucunda ise akma süresi ise 30,9 s olarak elde edilmiştir.

Kaya tuzunun enjeksiyon sıvısının mekanik ve reolojik özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla farklı parametreler ve seviyeleri kullanılarak daha kesin sonuçlara ulaşılabilir.

TEŞEKKÜR

Çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2020-8223 BAP proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anagnostopoulos, C.A. (2005), “Laboratory Study of an Injected Granular Soil With Polymer Grouts”, Tunnelling And Underground Space Technology, Vol 20, 525-533.
- Anonim, (2016), “Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi”, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- ASTM C305-06, “Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency”.
- ASTM E534-18, “Standard Test Methods for Chemical Analysis of Sodium Chloride”.
- Ayık Kılıç E., (2020). “Kaya Tuzlarının Enjeksiyon Sıvıları Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çinicioğlu, F.Ö. (1997), “Zemin Mekaniğinde Harç Enjeksiyonu”, İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi.
- Gökdemir, A. (1999), “Mikro Daneli Çimento Enjeksiyonu Uygulanmış Kum Örneklerinin İnceliğe Bağlı Mekanik Ve Dayanım Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde Üniversitesi, Niğde.
- Kim, T., Lee C. (2000), “Deformation Behavior Changes Jointed Rocks by Cement Milk Grouting”, ISRM International Symposium, Melbourne, Australia.

- Lim, S.K., Tan C.S., Chen K.P., Lee M.L., Lee W.P. (2013), “ Effect of Different Sand Grading on Strength Properties of Cement Grout”, Construction and Building materials, Vol 38, 348-355.
- Özarslan, M. (2012), “Katkılı İnce Taneli Çimento Şerbetinin ve Enjekte Edildiği İnce ve Orta Taneli Kumların Bazı Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi” Fen Bilimleri Enstitüsü Selçuk Üniversitesi.
- Sha, F., Li S., Liu R., Li Z., Zhang. Q. (2018), “ Experimental Study on Performance of Cement-Based Grouts Admixed With Fly Ash, Bentonite, Superplasticizer, and Water Glass”, Construction and Building materials, Vol 161, 282-291.
- Tan, Ö., Zaimoğlu. A.Ş. (2004), “Investigation of Effects to The Rheological Properties of Additive Materials Which Are Used on Cement Injections”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, Vol 10, 275-281.
- Zaimoğlu, A. (2003), “Bentonit Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonu Karışımlarında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
γ_s (kN/m ³)	Dane Birim Hacim Ağırlık	D ₃₀ (mm)	Zemin Granülometri Eğrisinde %30 Geçene Karşılık Gelen Dane Çapı
γ_{kmax} (kN/m ³)	Maksimum Kuru Birim Ağırlık	D ₆₀ (mm)	Zemin Granülometri Eğrisinde %60 Geçene Karşılık Gelen Dane Çapı
γ_{kmin} (kN/m ³)	Minimum Kuru Birim Ağırlık	D ₁₀ (mm)	Zemin Granülometri Eğrisinde %10 Geçene Karşılık Gelen Dane Çapı (Efektif Çap)
e _{max} (%)	Maksimum Boşluk Oranı	C _u	Uniformluluk Katsayısı
e _{min} (%)	Minimum Boşluk Oranı	C _c	Eğrilik Katsayısı
S/C	Su/Çimento Oranı	KY	Kum Yüzdesi
KTDY	Kaya Tuzuna Doygunluk Yüzdesi		