

ÇİMENTO ENJEKSİYONLARINDA KULLANILAN KATKI MALZEMELERİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Özcan TAN, Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240/Erzurum

Geliş Tarihi : 30.06.2003

ÖZET

Bu çalışmada farklı oranlardaki bentonit (B), uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) ile birlikte hazırlanan enjeksiyon karışımlarının reolojik özellikleri araştırılmıştır. Deneyler için Taguchi Yöntemine göre 3 parametrelili 4 seviyeli L16 deney tasarım tablosu seçilmiştir. Enjeksiyon karışımlarının hazırlanmasında, kullanılan katı ağırlığının % 0, % 0.5, % 1 ve % 3'ü oranlarında bentonit, % 10, % 20, % 30 ve % 40'ı oranlarında uçucu kül ve % 0, % 5, % 10 ve % 20'i oranlarında silis dumanı kullanılmıştır. Hazırlanan enjeksiyon karışımları için laboratuvar ortamında çökme ve Marsh Hunisi deneyleri yapılmıştır. Deneyler su/katı (S/K) 1.25 için yapılmış olup deney sonuçları Taguchi Yöntemine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; Akma süresi ve çökme miktarı üzerinde en etkili parametrenin silis dumanı olduğu belirlenmiştir. Enjeksiyon karışımlarının incelenen özellikleri için optimum karışım oranları Taguchi Yöntemi ile belirlenmiş ve bu oranlar için doğrulama deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Uçucu kül, Silis dumanı, Bentonit, Enjeksiyon, Taguchi yöntemi

INVESTIGATION OF EFFECTS TO THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ADDITIVE MATERIALS WHICH ARE USED ON CEMENT ENJECTIONS

ABSTRACT

In this study the rheological properties of the injection mixtures containing various proportions of bentonite (B), fly ash (UK) and silica fume (SD) were investigated. L16 orthogonal array with three parameters and four levels was selected using Taguchi Design of Experiment Method. In the preparation of the injection mixtures the percentages of bentonite, fly ash and silica fume (by weight of solid) used were 0 %, 0.5 %, 1 %, 3 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, and 0 %, 5 %, 10 %, 20 %, respectively. For the prepared injection mixtures the sedimentation and Marsh funnel experiments were performed. The experiments were carried out water to solid ratios (W/S) of 1.25 and the experimental results were evaluated separately using Taguchi method. As a result of the evaluations; the most effective parameter on the flowing time (viscosity) and the amount of sedimentation was determined as the silica fume. For the investigated properties of the injection mixtures the optimum mixing ratios were determined with the Taguchi method and for these ratios the confirmation experiments were performed.

Key Words : Fly ash, Silica fume, Bentonite, Enjection, Taguchi method

1. GİRİŞ

Enjeksiyon, katkılı bir stabilizasyon yöntemi olup, taneli zemin ortamı içine veya kayaların çatlaklarına

enjeksiyon karışımının gönderilmesi ve bu karışımın boşluklarda sertleşerek ortama daha kararlı bir yapı kazandırılması işlemidir. Enjeksiyon uygulamasının başarıyla yapılabilmesi, karışım malzemelerinin

fiziksel ve mekanik özelliklerinin ve bunların zemine gönderilme yöntemlerinin her yönüyle ve karşılaştırmalı olarak bilinmesine bağlıdır.

Enjeksiyon karışımlarında en önemli reolojik özellikler stabilite, katılma süresi ve viskozitedir. İdeal bir enjeksiyon karışımında aranan özellikler düşük viskozite, kontrol edilebilir katılma süresi ve zeminde istenilen noktaya ulaştığında yüksek mukavemete sahip olmasıdır. Enjeksiyon işlemi sırasında, karışımın ulaşması için tasarlanan mesafe boyunca içindeki taneler çökelmeyip süspansiyon içinde kalıyorsa bu tip karışımlara dengeli (stabil) karışım adı verilir. Şayet enjeksiyon karışımında, karıştırıcıda harekete geçirildikten hemen sonra veya borulardaki türbülans etkisinden kurtulur kurtulmaz çökme başlıyorsa bu tür karışımlara dengesiz (stabil olmayan) karışım adı verilir (Çinicioğlu, 1997). Enjeksiyonlu zeminlerde mukavemetin artması ve yer altı suyunun basıncıyla enjeksiyon karışımının zeminden uzaklaştırılmasının engellenmesi için karışımların, enjeksiyondan sonra belli bir süre içerisinde priz alması istenir. Bu nedenle enjeksiyon karışımlarının enjeksiyon işleminden sonra ne kadar sürede priz alması gerektiği ön deneylerle tespit edilebilir. Priz alma süreleri vicat aleti ile belirlenmektedir. Enjeksiyon karışımlarında reolojik özelliklerden üçüncüsü viskozitedir. Viskozite sıvının kayma etkisine karşı direnç göstermesini sağlayan özelliğidir. Viskozite değeri azaldıkça karışımı zemine enjekte etmek için uygulanması gereken basınç azalır, küçük boşluklara nüfuz eder ve daha uzun mesafelere gider. Diğer taraftan viskozite arttıkça karışımın zemin içinde kat ettiği mesafe kısalmış ve büyük boşluklara nüfuz eder (Huang, 2001). Enjeksiyon karışımlarının viskozitesini ölçmek için standart boyutlardaki Marsh Konisi kullanılmaktadır. Enjeksiyon sıvılarının özelliklerini iyileştirmek amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Huang (1997) düşük seviyeli radyoaktif atıklar ve zararlı maddelerin izolasyonu için çimento ve uçucu kül enjeksiyon karışımlarının özelliklerini araştırmak amacıyla detaylı bir laboratuvar araştırması yapmıştır. Bentonit, silis dumani ve polipropilen fiber değişik durumlarda enjeksiyon karışımının özelliklerini geliştirmek için sırası ile karıştırılmıştır. Hazırlanan enjeksiyon karışımının akışkanlığı, kusması ve priz yapma süresi belirlenmiş ayrıca 120 güne kadar değişik kürlerde sertleşmiş enjeksiyon karışımının serbest basınç dayanımı, gözenek boyut dağılımı ve su geçirimsizliği belirlenmiştir. Çalışmada uçucu kül, maliyeti azaltma, akıcılığı azaltma, yoğunluğu arttırma, su geçirimsizliğini iyileştirme ve enjeksiyon karışımının ömrünü uzatma amacıyla; bentonit, geçirimsizliği

arttırma amacıyla; silis dumani, gözenekliği ve geçirimsizliği azaltma, dayanımı arttırma amacıyla ve polipropilen fiber enjeksiyon karışımının kırılma dayanımını minimuma indirme amacıyla kullanılmıştır.

Toumbakari et al. (1999), mekanik ve ultrasonik karıştırıcılar olmak üzere iki farklı karıştırma yöntemi kullanmışlardır. Kireç, doğal ve yapay puzolanlar gibi maddelerin ilavesiyle yapılan çimento enjeksiyon karışımlarında, çok ince boşlukların doldurulması söz konusu olduğunda, süper akışkanlaştırıcıların enjekte yapabilmek için yeterli olmadığı ifade edilmiştir. Malzemenin iyi enjekte edilebilirliğinin sağlanması için sadece en büyük tane boyutunun değiştirilmesinin yeterli olmadığına dikkat çekilmiştir. Süspansiyondaki ince malzemelerin taneler arası bağlantılardan dolayı kolayca toplanmaya sebep olduğu ve süper akışkanlaştırıcıların kullanılmasının da, taneler arasındaki polimerlerin tutunma kuvvetlerinden dolayı itici kuvvetlerin oluşmasına izin verdiği belirtilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda yüksek devirli karıştırma yönteminin toplanmayı önlemede yeterli olmadığı ve ultrasonik karıştırma yönteminin, sınırlı su/katı oranında yüksek penetrabiliteye sahip enjeksiyon karışımlarının oluşmasına müsaade ettiği görülmüştür.

Allan (1997) kauçuk katkılı enjeksiyon karışımının reolojisine süper akışkanlaştırıcı, uçucu kül ve yanmış ocak çürufunun etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, kırılma basıncının ve viskozitenin kauçuk hammaddesi içeriğine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, çimento enjeksiyon karışımlarına kauçuk hammaddesi ilave edilmesinin reolojik özelliklerin değişmesine neden olduğu ve viskoziteyi artırdığı bulunmuştur.

Chen et al. (1999), tarafından yapılan çalışmada, çok ince maddeler içeren değişik enjeksiyon karışımlarının dağılımları, televizyon sistemi veya mikroskop kullanılarak ultraviyole ışınlar altında belirgin bir şekilde izlenmiştir. Bu yaklaşımın, enjeksiyon karışımı dağılımını doğrudan gözlemeyi mümkün kıldığından dolayı, enjeksiyon karışımı mekanizmasının analizi, tasarlanan enjeksiyon karışımı içeriğinin belirlenmesi vb. için oldukça faydalı olduğu belirtilmiştir.

Mansure (2002) poliüretan enjeksiyonunun jeotermal kuyularda uygulamasını araştırmıştır. Bu enjeksiyonunun avantajının, viskozite ve priz süresinin yapılan işe göre ayarlanabilmesi olduğu belirtilmiştir. Yapılan enjeksiyonun pompalama başlangıcında düşük viskoziteyi sağlaması ve daha

sonra kısa sürede dayanım kazanması gerektiği belirtilmiştir.

Çalışmanın amacı bentonit, uçucu kül ve silis dumanı gibi ucuz katkı malzemeleri kullanılarak hazırlanan enjeksiyon karışımlarının viskozite ve çökelme yüzdesi üzerinde bu katkı malzemelerinin etkilerini Taguchi Yöntemi ile incelemektir.

2. MATERYAL VE METOD

2. 1. Taguchi Yöntemi

Bir deneyi veya bir ürünü etkileyen değişik parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini araştırmak için çeşitli yaklaşımlar ve metotlar kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları tam faktoriyel tasarım ve kısmi faktoriyel tasarımdır. Tam faktoriyel tasarımda bir deneydeki bütün faktörleri kapsayan her koşuldaki deneyler yapılarak sonuçlar araştırılmakta ve değerlendirme yapılmaktadır. Parametre sayısının ve seviyelerinin az olduğu deneylerde tam faktoriyel deney tasarımı uygulanabilmektedir. Örneğin 3 parametrelili ve her parametrenin de 2 seviyeli olduğu bir deneysel çalışma için $2^3 = 8$ adet deney yapılması gerekmektedir. Bu durum zaman ve maliyet açısından uygulanabilecek bir deney tasarımıdır. 7 parametrelili ve 3 seviyeli bir araştırma için ise tam faktoriyel deney tasarımına göre $3^7 = 2187$ adet deney yapılması gerekmektedir. Bu sayı, zaman maliyet ve değerlendirme açısından uygulanması oldukça zor bir deney sayısıdır. Bu gibi durumlarda başvuru yöntemlerden birisi de kısmi faktoriyel deney tasarımıdır. Bu tasarımda bütün kombinasyonun oldukça küçük bir bölümü örnek olarak seçilip deneyler yapılmakta ve sonuçlar değerlendirilmektedir. Deneyler, seçilen bir grup üzerinde yapıldığı için gerçek durumu yansıtmayabilir. Ayrıca bu yöntemde, aynı deney tasarımı için seçilen farklı gruplarla farklı sonuçlar bulunabilmektedir.

1941'de Taguchi tarafından deney tasarımları için yeni bir iskelet ve disiplin geliştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından kolaylıkla uygulanabilen bu metot ile sonuçlara ulaşmak ve değerlendirmek standartlaştırılmıştır. Bu Yöntem kalite-kontrol amaçlı ürün üretimi ve parametre tasarımı için geliştirilmiş olmakla birlikte, oldukça farklı alanlar içinde uygulanmaktadır. Taguchi Yöntemi, deney sayısı çok fazla olan araştırmalarda büyük kolaylıklar sağlamakta ve tam faktoriyel tasarıma alternatif olarak kullanılabilir.

Taguchi Yöntemi ile hedef değerler veya tahmin edilen değerler, kontrol edilebilen parametreleri ve

seviyelerini içeren ortogonal dizinler ile belirlenmektedir. Seçilen ortogonal dizini ile oldukça az sayıda deney veya çalışma yapılarak parametrelerin sonuca etkileri araştırılabilir. Ayrıca bu yöntem ile yapılmamış olan diğer deney sonuçları ile maksimum ve minimum değerler de tahmin edilebilmektedir. Taguchi yöntemi, son yıllardaki bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerlemelerin sonucunda, çeşitli bilimsel araştırmalarda, endüstri ürünleri tasarımlarında ve deney tasarımlarında kullanılmaktadır. Bu Çalışmada da kullanılan $L_{16}(4^5)$ 5 parametrelili ve 4 seviyeli ortogonal dizisi Tablo 1'de verilmiştir. Tablo'daki F1, F2, F3, F4 ve F5: çalışmada seçilen parametreleri, her deney numarası satırındaki rakamlar ise çalışmadaki parametrelerin seviyelerini göstermektedir.

Tablo 1. Ortogonal Dizini $L_{16}(4^5)$

Deney No	Parametreler ve Parametre Seviyeleri				
	F1	F2	F3	F4	F5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Bu Tablo ile 1024 deney yerine 16 deney yapılarak sonuçlar üzerinde değerlendirme yapılabilir. Taguchi Yönteminde analizler; standart analiz ve S/N (signal to noise) analizi olarak iki şekilde yapılmaktadır. Analizler üç farklı amaç için yapılmaktadır. Bunlar:

- En iyi veya optimum durumun belirlenmesi
- Faktörlerin ayrı ayrı sonuca etkilerinin tahmin edilmesi
- Optimum koşullar altındaki davranışın tahmin edilmesi

S/N analizinde temel olarak değişim indeksi olarak bilinen S/N oranı kullanılmaktadır. Taguchi Yönteminde kullanılan S/N oranı aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

$$S/N = -10 \log_{10}(\text{MSD}) \quad (1)$$

Burada, MSD (Mean Square Deviation): ortalama değerlerden ziyade hedef değer etrafındaki sapma

karelerinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır. MSD değeri hedef değer en büyük, en küçük ve optimum olması durumları için aşağıdaki bağıntılarla belirlenmektedir. Hedef değer maksimum olması için:

$$MSD = \left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2} \right) / n \quad (2)$$

Hedef değer minimum olması için:

$$MSD = \frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2}{n} \quad (3)$$

Hedefin bilinen belirli bir değer olması için:

$$MSD = \left[\frac{(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + \dots + (Y_n - Y_0)^2}{n} \right] \quad (4)$$

Burada; Y_1, Y_2, \dots, Y_n : deney sonuçları, n : bir deneydeki tekrar sayısı, Y_0 : bilinen belirli hedef değerdir. Bu yöntemle göre yapılmış bir deney tasarımında, optimum deney koşullarında beklenen hedef değerler ile deneylerin yapılmadığı durumlar için beklenen değerler (Y_{exp}) tahmin edilebilir. Bu değer, optimum koşullardaki faktör seviyelerinin ortalama S/N değerleri ve bütün tasarımın ortalama S/N değeri göz önüne alınarak belirlenmektedir.

$$Y_{exp} = \sqrt{\frac{1}{MSD}} \quad (5)$$

Taguchi Yöntemi hakkında daha detaylı bilgiler Logothetis (1992) ve Roy (2001) de bulunabilir.

2. 2. Deney Programı

Deneylerde kullanılan katkısız portland çimentosu (PC 42.5) Ankara Set Çimento Fabrikasından, silis dumanı (SD) Antalya Etibank Elektrometalurji Endüstri Fabrikasından, uçucu kül (UK. F sınıfı) Ankara Çayırhan Termik santrali'nden bentonit (B) ise Çankırı Karakayalar ocağından temin edilmiştir. Bu malzemelere ait özellikler Tablo 2'de toplu halde verilmiştir.

Çalışmada bentonit, uçucu kül ve silis dumanı parametre olarak seçilmiştir. Her parametrenin de 4 seviyeli olmasına karar verilmiştir. Seçilen parametreler ve bu parametrelerin seviyeleri (katı ağırlığının yüzdesi olarak) Tablo 3'de gösterilmiştir.

Deneylerde kullanılan parametreler ve seviye miktarlarını gösteren 3 parametrelilik 4 seviyeli standart L16 ortogonal dizin Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Malzemelere Ait Özellikler

	Çimento (%)	B. (%)	UK. (%)	SD. (%)
SiO ₂	19.80	60.75	47.5	85-95
Al ₂ O ₃	5.61	18.9	15.95	1-3
Fe ₂ O ₃	3.42	3.05	16.3	0.5-1.0
CaO	62.97	2.75	6.6	0.8-1.2
MgO	1.76	2.1	4.65	1.0-2.0
SO ₃	2.95	-	-	-
Na ₂ O	0.47	2.7	15.95	-
K ₂ O	0.87	0.95	-	-
Kızdırma Kaybı	2.17	-	-	0.5-1.0
Özgül ağırlık	3.08	1.04	-	2.25

Tablo 3. Seçilen Parametreler ve Seviyeleri

Seviye	Parametre		
	B. (%)	UK. (%)	SD. (%)
1	0	10	0
2	0.5	20	5
3	1	30	10
4	3	40	20

Tablo 4. Kullanılan Ortogonal Dizin L₁₆(4⁵)

Deney No	Parametreler ve parametre seviyeleri		
	B. (%)	UK. (%)	SD. (%)
1	0	10	0
2	0	20	5
3	0	30	10
4	0	40	20
5	0.5	10	5
6	0.5	20	0
7	0.5	30	20
8	0.5	40	10
9	1	10	10
10	1	20	20
11	1	30	0
12	1	40	5
13	3	10	20
14	3	20	10
15	3	30	5
16	3	40	0

Deneylerde karıştırma hızı 1000 dev/dk, karıştırma süresi ise 5 dakika olarak seçilmiştir. Karışım suyuna, kuru haldeki çimento + uçucu kül + silis dumanı karışımı ve bentonit bulamacı (% 10 bentonit + % 90 su) ilave edilmiştir. Malzemelerin ilave edilmesi esnasında mikser sürekli çalıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 5 dk süre ile devam etmiştir. Enjeksiyon işleminde enjeksiyon karışımının düşük basınçta enjekte edilebilmesi ve daha uzun mesafeye gidebilmesini sağlamak amacıyla su/katı (S/K) oranının yüksek olması istenir. Bu nedenle çalışmada S/K oranı 1.25 olarak seçilmiştir. Tablo 3'de verilen deney tasarım tablosuna göre hazırlanan enjeksiyon karışımları üzerinde çökeltme ve marsh hunisi deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylere ait detaylı bilgiler Zaimoğlu (2003) de bulunabilir.

3. DENEYSEL VERİLER VE DEĞERLENDİRİLME

Laboratuarda yapılan çökeltme ve marsh hunisi deney sonuçları toplu halde Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Çökeltme ve Marsh Hunisi Deney Sonuçları

Deney No.	Marsh Hunisi Deneyi (sn)	Çökeltme Deneyi (%)
1	32	42.19
2	31	37.39
3	32	18.25
4	35	3.94
5	31	28.91
6	32	39.23
7	36	2.69
8	33	17.52
9	35	10.32
10	39	2
11	32	38.7
12	33	20.32
13	60	2.46
14	38	4.72
15	34	10.16
16	33	24

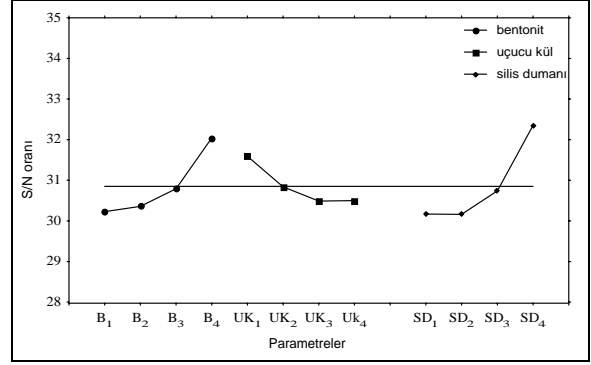
3. 1. Marsh Hunisi Akma Sürelerinin Değerlendirilmesi

Tablo 5’de akma süresi deney sonuçları kullanılarak L_{16} ortogonal dizin için ayrı ayrı S/N analizleri yapılmış ve yapılan analiz sonucunda 16 deney için hesaplanan S/N değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Deney sonuçlarının S/N değerleri

Deney No.	S/N Oranı
1	30.10
2	29.83
3	30.10
4	30.88
5	29.83
6	30.10
7	31.13
8	30.37
9	30.88
10	31.82
11	30.10
12	30.37
13	35.56
14	31.60
15	30.63
16	30.37
Ort. S/N	30.85

Taguchi Yöntemine göre parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için parametre seviyelerinin ortalama S/N değerinin bilinmesi gerekmektedir. Parametrelerin 1., 2., 3. ve 4. seviyelerine karşılık gelen Tablo 6’daki S/N değerleri için ortalama S/N değeri hesaplanarak Tablo 7’de, etki grafiği ise Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Parametrelerin marsh hunisi akma süresine etkileri

Tablo 7’den akma süresi için en yüksek ortalama S/N değeri, silis dumanının 4. seviyesinde (% 20) 32.35 olarak elde edilmiştir. En düşük ortalama S/N değeri ise yine silis dumanının 2. seviyesinde (% 5) 30.16 olarak bulunmuştur.

Tablo 7. Parametre Seviyelerinin Ortalama S/N Değerleri

Parametre	S/N Oranı			
	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
B.	30.23	30.36	30.79	32.04
UK.	31.59	30.84	30.49	30.50
SD.	30.17	30.16	30.74	32.35

Çizilen etki grafiği incelendiğinde S/K 1.25 için karışımdaki bentonit ve silis dumanı oranı arttığında akma süresi de hızla artmaktadır. Karışımdaki uçucu kül oranı arttıkça akma süresinin azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar Mirza (2002) ile uygunluk göstermektedir. Akma süresi sonucu üzerinde en etkili parametreler bentonit ve uçucu küldür. Bentonitin minimum S/N değeri 30.23 maksimum S/N değeri 32.04 olurken silis dumanının minimum S/N değeri 30.17 maksimum S/N değeri ise 32.35 olarak bulunmuştur.

Akma süresinin maksimum olduğu değer ve karışım oranlarını belirlemek için Taguchi yöntemi ile beklenen değerler ve güven aralıkları hesaplanmış ve Tablo 8’de verilmiştir.

Deneylerin yapılabileceği farklı karışımlar içinde en fazla akma süresinin % 3 bentonit, % 10 uçucu kül ve % 20 silis dumanının kullanıldığı deneyde ölçülebileceği belirlenmiştir. Bu karışım için akma süresinin % 90 güven aralığında 44.87 -60 sn ölçülmesi beklenmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonucunda bu değer ortalama 60 sn olarak ölçülmüştür.

Tablo 8. Optimum Deney Koşulları ve Beklenen Değerler (maksimum akma süresi)

Optimum Koşullardaki Parametre Oranı			Beklenen akma süresi. (sn)	% 90 Güven aralığı (sn)	Doğrulama deney sonucu (sn)
B.	UK.	SD.			
3	10	20	51.70	44.87-60.00	60.00

3. 2. Çökeltme Yüzdelerinin Değerlendirmesi

Tablo 5’de verilen çökeltme miktarı deney sonuçları kullanılarak L_{16} ortogonal dizin için ayrı ayrı S/N analizleri yapılmış ve yapılan analiz sonucunda 16 deney için belirlenen S/N değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Deney Sonuçlarının S/N Değerleri

Deney No.	S/N Oranı
1	32.51
2	31.46
3	25.23
4	11.91
5	29.22
6	31.87
7	8.60
8	24.87
9	20.27
10	6.02
11	31.76
12	26.16
13	7.82
14	13.48
15	20.14
16	27.61
Ort. S/N	21.81

Parametrelerin ve seviyelerin sonuca etkilerini belirlemede kullanılan parametrelerin ortalama S/N değerleri hesaplanarak Tablo 10’da verilmiştir. En yüksek ortalama S/N değerleri, silis dumanının 1. seviyesinde (% 0) sırası ile 30.93 olarak elde edilmiştir. Uçucu kül 4. seviyesinde (% 40) 22.64 olarak bulunmuştur. Bentonit ise 1. seviyesinde (% 0) 25.27 olarak elde edilmiştir.

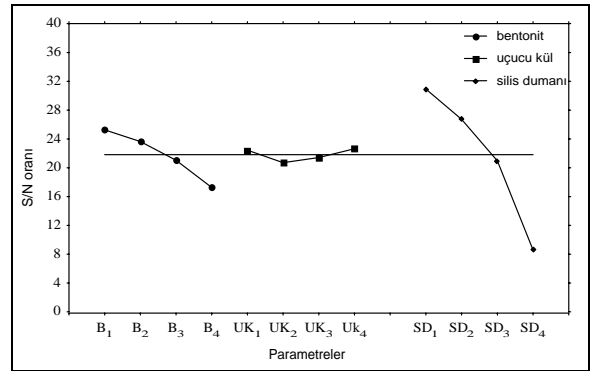
Tablo 10. Parametre Seviyelerinin Ortalama S/N Değerleri

Parametre	S/N Oranı			
	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
B.	25.27	23.64	21.05	17.26
UK.	22.45	20.71	21.43	22.64
SD.	30.93	26.74	20.96	8.59

Bentonit, uçucu kül ve silis dumanının çökeltme yüzdesi sonucu üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 2’de verilmiştir.

Etki grafiğinin incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular şunlardır; bentonit miktarı arttıkça çökeltme

miktarının azaldığı görülmektedir. Uçucu külün 2. (% 20) seviyeye kadar çökeltme miktarı azalmakta ve daha sonra 3. (% 30) ve 4. (% 40) seviyelerde uçucu kül arttıkça çökeltme miktarı artmaktadır. Silis dumanının artması ile çökeltme miktarında önemli derecede bir azalmanın olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar (Huang, 1997; Mirza, 2002) ile uygunluk göstermektedir.



Şekil 2. Parametrelerin çökeltme yüzdesine etkileri

Çökeltme miktarının minimum olduğu değer ve karışım oranlarını belirlemek için Taguchi yöntemi ile beklenen değerler ve güven aralıkları hesaplanmış ve Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Optimum Deney Koşulları ve Beklenen Değerler (minimum çökeltme yüzdesi)

Optimum Koşullardaki Parametre Oranı			Beklenen Çökeltme Yüzdesi (%)	% 90 Güven Aralığı (%)	Doğrulama Deney Sonucu (%)
B.	UK.	SD.			
3	20	20	1.40	0.49-2.11	2.00

Tablodan çökeltme yüzdesi için en ideal enjeksiyon karışımının, bentonitin 4. seviyesi (% 3), uçucu külün 2. seviyesi (20) ve silis dumanının 4. seviyesi (% 20) kullanılarak hazırlanan karışım olduğu görülmektedir. Bu karışım için çökeltme yüzdesinin % 90 güven aralığında % 0.49 - % 2.11 arasında gerçekleşmesi beklenmektedir. Yapılan Doğrulama deney sonucunda çökeltme yüzdesi % 2 olarak bulunmuştur.

4. SONUÇ

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular şunlardır;

- Bentonit ve silis dumanı oranı arttıkça çökeltme yüzdesi azalmaktadır.
- Uçucu kül çökeltme yüzdesini 2. seviye (% 20) den sonra artırmaktadır.
- Çökeltme yüzdesi üzerinde en etkili parametre silis dumanıdır.
- En az çökeltme yüzdesinin, % 3 bentonit, % 20 uçucu külün ve % 20 silis dumanının kullanıldığı enjeksiyon karışımında olduğu belirlenmiştir.
- Bentonit ve silis dumanı enjeksiyon karışımının akma süresi üzerinde artırıcı yönde etki etmektedir.
- Uçucu kül oranı arttıkça akma süresi azalmaktadır.
- En fazla akma süresinin % 3 bentonit, % 10 uçucu kül ve % 20 silis dumanının kullanıldığı deneyde ölçülebileceği belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

Allan, M.L., 1997. Rheology of Latex-Modified Grouts. Cement and Concrete Research, 27 (12), 1875-1884.

Chen, Y., Nishiyama T., Terada M., Iwamoto Y. 1999. A Fluorescent Approach to the Identification of Grout Injected Into Fissures and Pore Spaces. Engineering Geology, 56, 395-401.

Çinicioğlu, F. Ö. 1997. Zemin Mekanikinde Harç

Enjeksiyonu. İ. Ü. Basımevi ve Film Merkezi, 63-172, İstanbul.

Huang, W. H. 1997. Properties of Cement-Fly Ash Grout Admixed With Bentonite, Silica Fume, or Organic Fiber. Cement and Concrete Research, 27, 3, 395-406.

Huang, W. H. 2001. Improving the Properties of Cement-fly Ash Grout Using Fiber and Superplasticizer. Cement and Concrete Research, (31), 1033-1041.

Logothetis, N. 1992. Managing for Total Quality From Deming to Taguchi and SPC. Prentice Hall International Ltd, New York.

Mansure, A. J. 2002. Polyurethane Grouting Geothermal Lost Circulation Zones. Society of Petroleum Engineering 74556.

Mirza, J., Mirza M.S., Roy V. and Saleh, K. 2002. Basic Rheological and Mechanical Properties of High-volume fly ash Grouts. Construction and Building Materials, 16, 353-363.

Roy, R. 2001. Design of Experiments Using the Taguchi Approach, Wiley-Interscience, New York.

Toumbakari, E. E., Van Gemert D., Tassios T.P., Tenoutasse N. 1999. Effect of Mixing Procedure on Injectability of Cementitious Grouts. Cement and Concrete Research, (29), 867-872.

Zaimoğlu A. Ş. 2003. Bentonit, Uçucu Kül Ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonu Karışımlarında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Taguchi Yöntemi İle İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.