

ENJEKSİYON TEKNOLOJİSİNDE KULLANILAN KİMYASAL KATKILAR

Nazmiye PARLAK(*), Ali Raif SAĞLAM(**)

ÖZET

İnşaat mühendisliğinde önemli bir yer tutan enjeksiyon çalışmalarının başarısı; yapının su geçirimsizliğinin ve çevresi ile birlikte stabilitesinin sağlanmasına bağlıdır. Ancak enjeksiyon malzemelerinden beklenen özellikler oldukça fazladır. Taze halde iken yeterince akıcı fakat ayrılmayacak kadar kararlı (stabil) olmaları, ayrıca çatlak ve boşluklara kolaylıkla girmeleri gerekir. İşlemlerin hızla yürütülebilmesi açısından akış hızlarının da yüksek olması istenir. Sertleştikten sonra yeterli bir dayanıma erişmeleri, su geçirimsizliğine sahip olmaları ve yeraltı sularındaki kimyasal etkiler sonucu bozulmamaları gereklidir. Bu nitelikleri sağlama yönünden büzülme yapmalarını, çatlamamaları önem kazanır. Bu yüzden enjeksiyon malzemelerinin genleşen türde olmalarında yarar vardır.

Bu çalışmada, süperakışkanlaştırıcı, priz geciktirici ve hızlandırıcı nitelikteki çeşitli kimyasal katkıları kullanarak üretilen enjeksiyon şerbetlerinin davranışları deneysel olarak incelenmiş ve uygulamadan bir örnek olması açısından Çine barajı profesinde öngörülen sınır değerlerle karşılaştırmaları yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Enjeksiyon, enjeksiyon katkıları, tiksotropi.

1. GİRİŞ

Enjeksiyon çalışmaları inşaat mühendisliğinin pek çok uygulamalarında; örneğin barajlar, istinat duvarları, kıyı yapıları, temeller, zemin ıslahı yapılarında önemli bir yer tutar. Yapının su geçirimsizliğinin ve çevresi ile birlikte stabilitesinin sağlanması, enjeksiyon çalışmalarının başarısına bağlıdır.

Toprak altında kaldığından görünmeyen enjeksiyon işlerinin tekniğine uygun olarak sıhhatli yapılmamasının ekonomik olarak maliyeti oldukça yüksektir ve yapının tamamen yıkılıp yeniden yapılması ile

(*) Kimya Mühendisi, (**) İnşaat Yüksek Mühendisi Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.

karşı karşıya gelinebilir. Boya deneyleri, lüjyon (lugeon) testleri ile enjeksiyon uygulamasının performansı gözlenebilmekle beraber, oldukça zahmetli ve yorucu olduğu için pek çok projede yapılmamakta, ancak büyük işlerde uygulanabilmektedir.

Zeminin yapısına bağlı olarak enjeksiyon işlerinin tüm inşaat maliyeti içindeki payı proje bedeline yakın olabileceğinden, yapıyı ıslah gerektirmeyen kayalık bir zemin üzerinde inşa etmek bazen daha ekonomik bir çözüm olabilir. Eğer yapının, ıslah gerektiren bir zemin üzerine yapılması kaçınılmaz ise zemini güçlendirmek ve taşıma kapasitesini projede istenilen değerlere çıkartmak zorunludur.

Enjeksiyon çalışmalarının başarılı olması için aşağıdaki şartların yerine getirilmesi gereklidir [1]:

- 1) Zemin özellikleri çok iyi tanınmalıdır (çatlak genişliği, boşluklar, zeminin cinsi, vs.).
- 2) Amaca uygun enjeksiyon yöntemi belirlenmelidir (alçalan veya yükselen kademe, tek aşamalı vb.).
- 3) Uygun şerbet karışımı malzemesi seçilmelidir (çimento, kil, kum, kimyasal katkı, bentonit vb.).
- 4) Performans kontrol deneyleri yapılmalıdır (boya, lüjyon, vb.).
- 5) Enjeksiyon teknolojisi parametreleri (enjeksiyon pompası basıncı, metre uzunluk başına düşen şerbet hacmi, enjeksiyon akış hızı) uygun seçilmelidir.

Bu nedenle çalışmalar, jeoloji, inşaat (geoteknik), jeodezi mühendisliği vb. değişik disiplinlerden oluşan bir ekip ile yapılabilir.

Enjeksiyon karışımlarından beklenen özellikler oldukça fazladır. Enjeksiyon malzemesinin zeminde açılan delikler içinde kolay ilerleyebilmesi için, taze halde iken akışkanlığı yüksek olmalıdır. Ancak enjeksiyon karışımı sertleşinceye kadar katı bileşenlerini askıda tutmalı, ayrılmayacak kadar kararlı olmalıdır. Akışkanlık ve kararlılık niteliklerinin beraber sağlanması çelişkilidir, sorun bir optimizasyon

problemi olarak çözümlenir. Enjeksiyon işlemlerinin hızla yürütülebilmesi açısından karışımların akış hızlarının yüksek olması istenir. Sertleştikten sonra yeterli bir dayanıma erişmeleri, su geçirimsizliğine sahip olmaları ve yeraltı sularındaki kimyasal etkiler sonucu bozulmamaları (dayanıklı olmaları) gerekir. Bu nitelikleri sağlama yönünden büzülme yapmaları, çatlamamaları önem kazanır; bu yüzden şerbetlerin genleşen türde olmalarında yarar vardır.

1.1. Enjeksiyonda Kullanılan Malzemeler

Çimento esaslı enjeksiyon malzemelerine günümüzde akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcılar, hızlandırıcı veya geciktiriciler, su tutucu katkılar, genleştiriciler ve tiksotropi sağlayıcı katkılar ilave edilir.

Süperakışkanlaştırıcılar

Enjeksiyon şerbetinin su oranının artması akışkanlığını yükseltir. Ancak su miktarı arttıkça enjeksiyon şerbetinde ayrışma görülür. Ayrışan su fazı, delik çeperlerindeki zemin tarafından emilirken, çimento faz suya doygun halden kuru hale dönüşür, içsel sürtünme artar ve delik blokajına yol açar. Ayrıca, yüksek su oranı nedeniyle mekanik dayanım düşük olur, boşluk miktarı artar, dürabilite özelliği bozulur. Bu sakıncaları önlemek için enjeksiyon şerbetlerine akışkanlaştırıcı ve özellikle süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilir. Süperakışkanlaştırıcılar ile enjeksiyon şerbetinin mobilitesi artırılarak delik çeperleri tarafından emilmeden hızlı bir şekilde akması sağlanırken, su azaltma etkisi sayesinde daha yüksek mekanik dayanım ve dürabilite elde edilir.

Priz geciktirici katkılar

Enjeksiyonda kullanılan çimentonun priz yapmasını geciktirmek için kullanılan katkılardır. Çeşitli organik geciktiriciler, sodyum tri fosfat, tetrapotasyum pirofosfat, sodyum hegzametafosfat gibi çeşitli fosfat bileşikler bu amaçla kullanılmaktadır.

Priz hızlandırıcı katkılar

Donatı bulunmayan enjeksiyon işlemlerinde klorür esaslı katkılar da yine priz hızlandırıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca sodyum ve alüminyum silikat türündeki anorganik silikatlar, sertleşme hızlandırıcı ve su tutucu özellik gösterirler. Ancak çimento ile beraber kullanıldığında silikatlarda ileri yaşlarda dayanımı düşürdüğü beyan edilmektedir [2].

Viskozite düzenleyici katkılar

Enjeksiyon şerbetlerinde çökmeyi önlemek, akışkanlığı sağlamak kadar önemlidir. Eskiden, bu amaçla karışıma yüksek oranda (çimentonun % 5'i) bentonit kili katılmakta idi. Böyle durumlarda, bentonit su gereksinimini artırmakta, bu da sertleşmiş enjeksiyon harcının dayanım ve dürabilite özellik-

lerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak günümüzde, süperakışkanlaştırıcı katkılarla, bentonit oranı %0.5 ve su/çimento oranı da 0.60 mertebelerine indirilerek sorun çözülmeye çalışılmaktadır. Bentonit kili kayma eşiğini önemli oranda, plastik viskoziteyi ise nispeten düşük oranda artırmaktadır. Bu durumun bentonitin kaydırıcı özelliğinden (yağlayıcı etki de denilmektedir) kaynaklandığı varsayılır. Plastik viskozite bulamacın akış hızını, kayma eşiği ise maksimum iletim boyunu belirler. Böylece bentonit akış sırasında şerbet hacmini sınırlar. Halbuki akışkanlaştırıcılar kayma eşiğini büyük ölçüde, viskoziteyi ise nispeten düşük düzeyde azaltırlar, sonuçta akış hızı artar ve enjeksiyon işlemi kısa sürede tamamlanır. Bu durum bentonitin yağlayıcı etkisinin akışkanlaştırıcı katılması kadar önemli olmadığını anlamına gelmemelidir. Çünkü bentonitin bulamaç stabilitesini sağlama işlevinin hala geçerli olduğu kabul edilmelidir. Özellikle kaya çatlaklarının geniş olması durumunda bulamaca ince kum katılması yoluna gidilir. Bu tür kumlu enjeksiyon harçlarına yaklaşık %0.5 oranında bentonit katılması çökmeyi önler.

Çimento

Çimento, enjeksiyonda bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Normal portland yanında cürufu veya sülfata dayanıklı çimento kullanılması da mümkündür. Cürufu çimento kullanıldığında şartnameler Blaine özgül yüzeyini minimum 4000 cm²/gr ile sınırlamışlardır. Çökmeyi önlemek için bentonit dışında başvurulacak çimento dozajını artırmak ve daha ince taneli çimento kullanmaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, çeşitli kimyasal katkılar kullanılarak üretilen enjeksiyon şerbetlerinin davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Çimento

Hazırlanan tüm karışımlarda Tablo 1'de özellikleri verilen Aslan PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır.

Tablo 1 - Çimentonun Kimyasal ve Minerolojik Birleşimi, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Kim. Analiz	(%)	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
MgO	1,73	Özgül Ağırlık, (kg/m ³)	3,18
SO ₃	3,01	Blaine, (cm ² /gr)	3150
Serbest CaO	0,67	Le Chatelier, (mm)	1,0
K. Kaybı	0,71	Priz Başı, (dak.)	185
Minerolojik Bileşim	(%)	Priz Sonu, (dak.)	225
		Bas. Dayanımı, (MPa, 2 Gün)	26,9
C ₃ S	45,97	Bas. Dayanımı, (MPa, 7 Gün)	44,2
C ₃ A	9,45	Bas. Dayanımı, (MPa, 28 Gün)	57,9

2.1.2. Katkılar

Deneylerde kullanılan katkıların özellikleri aşağıda verilmiştir.

Süperakışkanlaştırıcı

Su azaltma özelliği nedeni ile özel tip polimer içeren Sikament 98 adlı kimyasal katkı kullanılmıştır. Katı maddesi %25'lik olan bir çözeltidir. Doğrudan karma suyuna verilmiştir.

Geciktiriciler

Hem su azaltan hem de priz süresini uzatan organik geciktiriciler kullanılmıştır. Sodyum trifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), tetra potasyum pirofosfat ($\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), sodyum hegzameta fosfat (1:1 $\text{Na}_2\text{O}:\text{P}_2\text{O}_5$ %67 P_2O_5) olmak üzere üç ayrı tipte seçilmiştir [3]. Numunelerin tamamı kristal halde toz kısma karıştırılmıştır. Daha sonra karışım suyu ilave edilmiştir.

Priz Hızlandırıcı

İki tür katkı kullanılmıştır. Bunlardan ilki, klorür tuzu içeren (enjeksiyon işlerinin yapıldığı yerlerde donatı bulunmadığı için önerilmiştir) %44 aktif maddesi ve ayrıca su azaltma özelliği olan Sika Dry Mix Cl'dir. Diğer katkı ise viskozitesi 20 °C'de 149 cp ve yoğunluğu 20 °C'de 40 Be' (Baume') olan sodyum silikat çözeltisidir. Her iki katkı da karışım suyuna ilave edilmiştir.

Viskozite Düzenleyici

Tüm karışımlarda, Karakaya orijinli toz bentonitin 1:10 oranında sulandırılması ve 24 saat süre ile dinlendirilmesi ile elde edilen bentonit çamuru kullanılmıştır.

2.2. Deney Yöntemleri

2.2.1. Viskozite

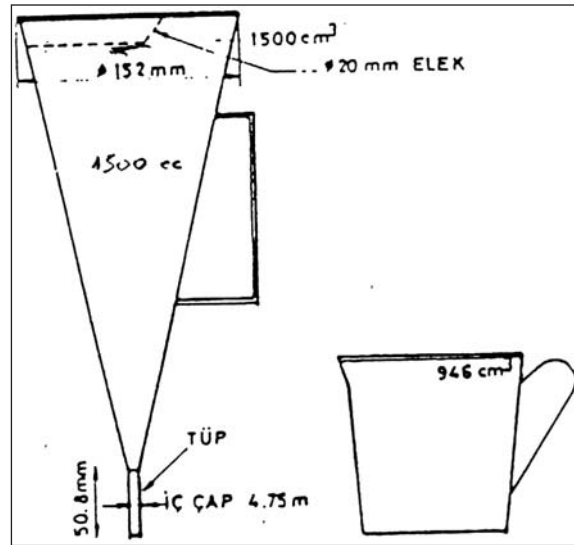
Karışımların viskoziteleri Marsh konisi (Şekil 1) yardımı ile belirlenmiştir. Deneyde Marsh konisi üretilen karışım ile işaretli yere kadar doldurulurken, nozülü parmakla kapatılır. Koninin altına konulan ölçekli kabın (946 ml) işaretli çizgisine kadar olan dolma süresi saniye cinsinden kaydedilir.

2.2.2. Çökeltme deneyi

Üretilen ve 1000 cc'lik mezüre konulan karışımın 3 saat sonunda çökmesi ölçülmüştür. Ölçülen yükseklik farkı çökeltme değeridir ve % cinsinden ifade edilir. Karışımın, genel olarak %5 den daha az çökeltme yapması istenmektedir (Resim 1).



Resim 1 - Çökeltme Deneyi



Şekil 1 - Marsh Konisi Deney Düzeneği

2.2.3. Tikotropi zamanı

Hazırlanan ve 250 ml'lik behere silme doldurulan karışımın 45 derecelik bir şablon (Resim 2) yardımıyla eğilerek dökülme durumu gözlenmiştir. Şerbetin dökülmeksizin eğik konumda kalabildiği süre tikotropi zamanı olarak kaydedilmektedir.

2.2.4. Mekanik dayanımlar

Üretilen karışımlar 4x4x16 cm ebatlarındaki prizma kalıplara konulmuştur. Sertleşmelerini takiben kalıptan çıkartılarak deney gününe kadar 20±2 °C'deki su içinde bekletilmişlerdir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI

Deneyler üç ayrı seri halinde yapılmıştır. İlk iki seride Marsh viskozite değerleri 30-35 sn ve 35-40 sn olarak seçilmiş, üretilen karışımların istenilen viskozite aralıklarında olmalarını sağlayacak şekilde su/çimento oranı ve katkı miktarı ayarlanmıştır (Tablo 2 ve 3). Son seride ise su/çimento oranı sabit



Resim 2 - Tikotropi Deneyi

Tablo 2 - Marsh Viskozitesi 30-35 sn Olan Enjeksiyon Karışımları (Seri 1)

Kullanılan Katkı	%	S/Ç	Viskozite (sn)	Çökeltme (3 saat, %)	Basınç Dayanımı (28 gün, MPa)
Sodyum Trifosfat	1,0	1,8	33	21,0	3,1
Tetra Potasyum Pirofosfat	1,0	1,8	33	7,0	2,6
Sodyum Hegza meta fosfat	1,0	1,8	33	7,0	2,3
Sikament 98	1,0	1,2	33	2,5	9,3
İstenen Değerler			30-35	<5,0	>5,0

Tablo 3 - Marsh Viskozitesi 35-40 sn Olan Enjeksiyon Karışımları (Seri 2)

Kullanılan Katkı	%	S/Ç	Viskozite (sn)	Çökeltme (3 saat, %)	Basınç Dayanımı (28 gün, MPa)
Sodyum Trifosfat	1,0	1,0	39	6,5	8,0
Sodyum Trifosfat	0,5	0,9	39	9,5	9,2
Sikament 98	1,0	0,7	39	2,0	24,0
İstenen değerler			35-40	<5,0	>10,0

Tablo 4 - Su/Çimento Oranı 0,70 Olan Enjeksiyon Karışımları (Seri 3)

Kullanılan Katkı	%	S/Ç	Viskozite (sn)	Tiksotropi Dakika	Basınç dayanımı 28 gün, MPa
Sodyum Silikat (Camsuyu)	2,0	0,7	114	35	15,6
Sika Dry Mix CL	2,0	0,7	68	87	18,3
Sika Dry Mix CL	4,0	0,7	75	55	14,7
İstenen değerler				<90	>10,0

tutularak üretilen karışımların özellikleri gözlemlenmiştir (Tablo 4). Deneyler sırasında ortam ve karışım sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu çalışmada istenen değerler olarak, Çine barajı şartnamesinde [4] yer alan sınırlamalar esas alınmıştır.

- 1) Birinci seri sonuçları incelendiğinde, en iyi sonucu Sikament 98 katkısının verdiği anlaşılmaktadır (Tablo 2). Sikament 98 ile hem çökeltmenin %5'den küçük olması (%2,5) hem de basınç dayanımının 5 MPa'dan büyük olması sağlanmıştır. Buna karşılık, sodyum tri fosfat, çökeltme oranını çok artırırken diğer iki katkı da çökeltmeyi %5'in altına indirememiştir. Ayrıca Sikament 98 dışındaki geciktirici katkıların 28 günlük dayanımları 5 MPa'ya ulaşamamıştır.
- 2) İkinci seride, süperakışkanlaştırıcı katkı (Sikament 98) içeren karışımların daha az su ile diğer katkı karışımları ile aynı viskoziteyi verdiği, daha az çökeltme yaptığı ve daha yüksek dayanım elde etmeye imkan tanıdığı, bu çalışmada esas alınan Çine Barajı'nda kullanılan standartların isteklerine uygun olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).
- 3) Su/çimento oranını sabit olarak (w/c = 0,70) seçilen üçüncü seride, denenen katkıların şartname koşullarını sağladığı tespit edilmiştir. Sika Dry Mix Cl'li karışımların daha düşük viskozitede

daha yüksek basınç dayanımları verdiği görülmüştür. Ancak Sika Dry Mix Cl içeren karışımların su/çimento oranları azaltılarak, viskoziteleri eşitlenmesi yöntemi seçildiğinde, tiksotropi zamanları azalabileceği ve dayanımların daha yüksek olmasının sağlanabileceği söylenebilir.

4) Tiksotropinin, şerbetin akamayacak kadar kıvamlı olmaya başladığı süre olduğu düşünülürse, Sika Dry Mix Cl (%2) ile elde edilen 87 dakikalık tiksotropi zamanının, sodyum silikat ile elde edilen 35 dakikalık tiksotropi süresine kıyasla, iletim boyu uzun enjeksiyon işlemlerinde ve özellikle yaz aylarında çalışabilme açısından daha yeterli olacağı söylenebilir.

4. SONUÇ

1) Süperakışkanlaştırıcılardan yararlanılan enjeksiyon şerbetlerinde, karışım suyu ve çökeltme azalmakta, sonuç olarak daha kararlı bir karışım elde edilmektedir. Ayrıca üretilen karışımların

basınç dayanımı ve nüfuz etme yetenekleri artmaktadır.

- 2) Hızlandırıcı katkılardan Sika Dry Mix Cl kullanımı ile sodyum silikat'a kıyasla aynı su/çimento ve katkı oranında daha düşük viskozite, yüksek basınç dayanımı, daha uzun tiksotropi zamanı elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] AKMAN M. S., MUTLU, M. ; "Baraj Zeminlerinde Enjeksiyon Teknolojisi ve Malzemeleri", Türkiye İnşaat Mühendisliği, IMO, 15. Teknik Kongresi, ODTÜ, Ankara 24-26 Kasım 1999
- [2] MAI D., 4th International Symposium for Shotcrete Technology, Innsbruck, 1999
- [3] Condensed Chemical Dictionary, Twelfth Edition, p.p 958, 1058.
- [4] Çine Barajı Şartnamesi

TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmaların yapılmasında emeği geçen Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Ar-Ge ve Kalite Kontrol personeline, yazının giriş bölümünün hazırlayan Sn. Mehmet Mutlu'ya ve yönlendirmelerinden dolayı Sn. Prof. Dr. M. Hulusi ÖZKUL'a teşekkür ederiz.