

KENT MERKEZLERİNDEKİ YERALTI KAZILARINDA BENTONİT KATKILI ÇİMENTO ENJEKSİYONU UYGULAMALARI

Ali Gürel
Yrd.Doç.Dr
Niğde Üniversitesi
Niğde - Türkiye

Fahri Özbayoğlu
Doç.Dr.
Niğde Üniversitesi
Niğde - Türkiye

ÖZET

Son yıllarda, büyük kentlerde önemli boyutlara varan nüfus artışı ve bunun sonucu olarak, mevcut alt yapının yetersiz kalması nedeniyle, kısa sürede metro, kanal ve diğer yeraltı inşaatlarının kısa sürede tamamlanmaları gerekli olmuştur. Bu alanlarda yapılacak yeraltı kazıları ve tünel inşaatlarında patlayıcı kullanımının rahatlıkla uygulanamaması nedeniyle, tünellerin yapımları sırasında, mevcut binaların göçmeye karşı korunumu, basınçlı çimento enjeksiyonlarıyla sağlanacaktır. Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı, OYSA Niğde Çimento ve NİĞBAŞ Laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucunda kum ve çakıl karışımlarına 10 atm. basınç altında çimento enjeksiyonu deneyleri yapılmış ve bu deneyler sonucunda, çimento enjeksiyonunun, daha ziyade yüksek porositeli kumlu çakıllı zeminlerin, stabilizasyonu için uygulanabileceği, daha ince daneli zeminlerin iyileştirilmesi için mikro daneli çimento enjeksiyonunun uygun olacağı görülmüştür.

1 - GİRİŞ

Son yıllarda, kırsal alanlardan büyük kentlere, yoğun göçler yaşanmakta ve tahminlerin ötesindeki bu nüfus artışı karşısında mevcut alt yapı yetersiz kalmaktadır. Özellikle büyük metropollerde ulaşım ve diğer alt yapı sorunlarının çözümü için, en kısa

zamanda yapılması gerekli olan metro ve kanal kazıları kent merkezlerinde beklenmeyen sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu alanlarda yapılan yeraltı kazıları ve tünel inşaatlarında patlayıcı kullanım yöntemlerinin rahatlıkla uygulanamaması nedeniyle, tünellerin yapımları sırasında belirli basınç kademeleri altında uygulanan, dolgu enjeksiyonları, mevcut binaların göçmeye karşı korunması yönünde önemli avantajlar sağlayacaktır.

Yeraltı yapıları, tünel ve kanal açılması sırasında patlayıcı madde kullanılması, şehir merkezindeki yapılarda önemli hasarlara yol açabileceğinden bunun önlenmesi için enjeksiyonla tahkim edilmiş kesimlerde çalışılması gerekmektedir. Örneğin, Ankaray yapımı sırasında, Kızılay civarında çok katlı yüksek binaların temellerinin hasar görmemesi için jet grout yöntemi uygulanmış ve bunda da hayli başarılı olunmuştur. Benzer yöntemler İstanbul metro inşaatında da kullanılmış ve kent merkezlerinde yeraltı kazılarında, enjeksiyon uygulamalarının gerekliliği bir kez daha görülmüştür.

Büyük kentlerde, metro ve raylı ulaşım sistemlerinin, gecikmeli de olsa yapımı, kaçınılmaz olarak görülmektedir. Bu durumda kentlerin fazlaca büyümeden, bir an önce metro ve raylı ulaşım sistemlerinin yapımı gerçekleşmelidir. Bu inşaatlar sırasında, zaman zaman, yeraltından geçecek hatlar için tünel açma zorunluluğu, değişik özellikleri olan katkılı çimento enjeksiyonunun gerekliliği ortaya koymaktadır.

Basınçlı enjeksiyon materyalinin en ekonomik tiplerinden biri de çimentodur. Kumlu ve çakıllı bölgede, normal çimento enjeksiyonu, bir ölçüde etkili olmasına karşılık, zemin boşluk oranı azaldıkça, normal portland çimentosu yeterli olamamakta ve daha fazla öğütülmüş mikrodaneli çimentolar gerekli olmaktadır, çünkü, zemin daneleri arasındaki boşluklar azaldıkça, normal portland çimentosunun etki sınırları da yüzeysel kalmaktadır.

Bilindiği gibi, normal portlant çimentosunun dane büyüklükleri, 90 u'nün biraz üzerinde olabilmektedir. Mikro daneli çimentoların ise ortalama dane boyları 30 µ'nun altındadır.

Öte yandan, kent içi yeraltı inşaatlarında, yeraltı suyu sızıntısına da bir önlem almak üzere sızdırmazlık enjeksiyonu uygulanabilir. Bu durumda, çökelmeyi önlemek üzere, belirli oranlarda bentonit katılması çimento enjeksiyonunun etkinliğini artırmaktadır; Burada, bentonit katkılı çimento örneklerinin dayanım değerleri, diğerlerine göre biraz daha düşük olduğu gözden uzak tutulmamalıdır.

1.1. Enjeksiyon İşleri

Enjeksiyon, ortamın kayma dayanımı artırmak veya geçirimsizliği sağlamak amacıyla kaya zemin içindeki boşluklara basınç altında, özellikleri belirlenmiş bir karışımı zerk etme işlemidir. Zemine enjeksiyon yapılarak, boşluklar kısmen veya tamamen doldurulur. Bu işlemle, aynı zamanda zeminin geçirimsizliği artırılır ve danelerin kenetlenmesi sağlanarak şekil değiştirme direnci artırılır. Enjeksiyonda başarı sağlanabilmesi için uygun karışım ve yöntemin, yapılan testler sonunda belirlenmesi son derece önemlidir (1).

Bir zemin üzerinde enjeksiyon işlemine karar vermeden önce, başlıca şu hususlar incelenmelidir.

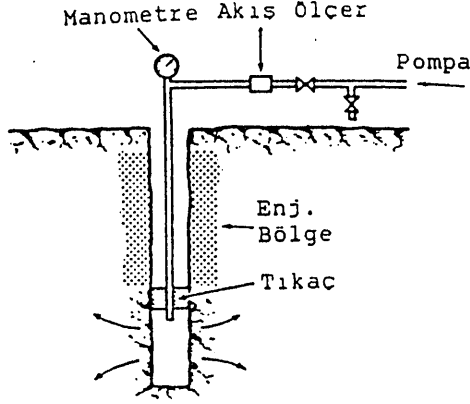
- 1) Boşluk ve çatlakların yeri, durumu ve büyüklüğü
- 2) Enjeksiyon karışımının boşluklara erişme durumu
- 3) Enjeksiyon karışımının ortamda davranış

Çatlak açıklıkları ve bunların dolguları sondaj karotlarıyla hassas olarak belirlenemediğinden, çatlak ve boşlukların bağlantıları hakkında Lugeon testleri yapılabilir (2).

Tıkaçla yapılan deneylerde, 1 m kuyu uzunluğunda, 10 bar basınç altında su kaybı 1 lt ise, buna 1 lugeon birimi denir (Şekil 1).

İşlevlerine göre enjeksiyonlar dört ayrı biçimde uygulanır. Perde enjeksiyonları, yeraltı suyuna karşı geçirimsiz perdeler oluşturma amacı ile yapılırlar. Konsolidasyon

enjeksiyonları, bir yapının oturtulacağı zemini sağlanlaştırılmak veya yapı çukuru ve tünel kazılarında zemini tutmak için uygulanır. Alüvyon enjeksiyonları, zemindeki boşlukların doldurulması, zeminin taşıma gücünün artırılması ve geçirimsizliğin sağlanması amacı ile uygulanır. Dolgu (kontakt) enjeksiyonları, yapı ile doğal zemin arasındaki boşlukların doldurulması amacı ile yapılır.

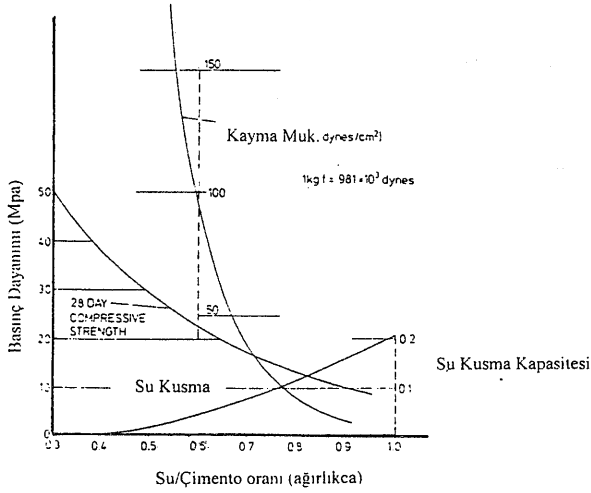


Şekil 1: Lugeon Deneyi

1.2 Portland Çimentosu ile Enjeksiyon

Çimento enjeksiyonlarında öncelikle akışkanlık, su kuma (çökme), dane boyutunun enjeksiyon ortamına uygunluğu gibi özellikler araştırılmalıdır. Enjeksiyonlardan sonra, zemin ortamının dayanımı, rötre, hidrasyon ısı gibi özelliklerin de belirlenmesinde önemli yararlar vardır. Çimento enjeksiyonlarında stabilizeyi artırmak ve ekonomi sağlamak amacıyla, enjeksiyon karışımına bentonit, sodyum silikat ve bunların yanında çökmeye karşı etkili, priz hızlandırıcı ve geciktirici gibi özellikler sağlayan bazı katkı maddeleri de kullanılmaktadır (3).

Çimento enjeksiyonlarında karışımların özelliklerini etkileyen en büyük faktörlerden biri de Su/çimento oranıdır. Bilindiği gibi karışımdaki fazla su, çökelmeye, düşük dayanıma, rötre artışına neden olmaktadır. Bu nedenle enjeksiyonda su/çimento oranı son derece önemlidir.



Şekil 2: Su/çimento oranının enjeksiyon özelliklerine etkisi (4)

1.2.1. Bentonit - Çimento Karışımları

Hidrolik sızdırmazlık ve çökelmeye karşı enjeksiyon materyallerinin hazırlanması, belirli oranlarda bentonit - çimento karışımları ile gerçekleştirilebilir. Bentonit katkısı, karışımın çökmesini önler ve viskoziteyi artırır (5). Bentonit çimento karışımları, etkin bir şekilde enjekte edilebilirse, pekleşmiş zemin permeabilitesi azalmakta ve karışımın gevrekliği artmaktadır (6).

Bir bentonit - çimento karışımı hazırlamak için kullanılacak bentoniti çok ince danelere ayırarak karıştırmak, karışımın geçirimsizliği ve stabilitesini artırarak, karışımın su kasma eğilimini azaltır.

Portland çimentoları yüksek su/çimento oranlarında karıştırıldığında, karışım stabil olmamakta ve çimento daneleri çökmektedir. Bentonit, karışımının stabilitesini ve viskozitesini artırmak amacı ile kullanılmaktadır. Bu amaçla, yoğun karışımlar için % 1 - 2, az yoğun karışımlar için (Su/Çim. oranı 1 den büyük) % 2 - 4 oranında, çimento ağırlığının %'si olarak bentonit kullanılır (7).

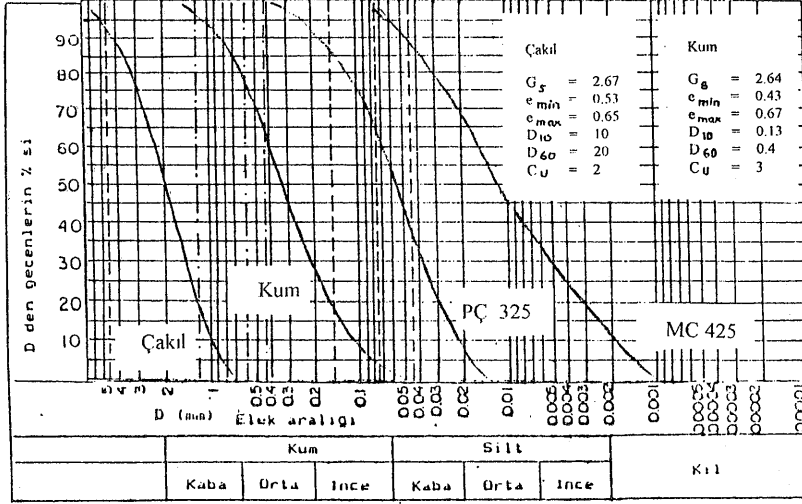
2. AMAÇ

Büyük kentlerde, yeraltı kazıları ve tünel inşaatlarında, patlayıcı madde kullanımının, çevardaki binaların emniyeti açısından sınırlı olması ve yasaklanması nedeniyle, enjeksiyon çalışmaları rasyonel bir yöntem olarak görülmektedir. Meskün yerlerde, yeraltı inşaatları sırasında yapılacak patlamalar, yakındaki binaların temellerinde sarsıntılar yaparak, binaların emniyetini tehlikeye atabileceği göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle de, metropollerde yeraltı inşaatlarında ve tünellerde, enjeksiyon uygulamaları önermekteyiz.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çimento enjeksiyon deneyleri, Niğde Üniversitesi Zemin Mekanikği Laboratuvarlarında, NİĞBAŞ (Niğde Beton Direk ve Sanayi Ürünleri Tesisler) ve OYSA, Niğde Çimento fabrikası araştırma laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çimento enjeksiyon model deneyleri, Şekil 3'de granulometrik eğrisi, kum ve çakıl örnekleriyle yapılmıştır.

Bir karşılaştırma yapılabilmesi için, deneylerde kullanılan Normal PC ve daha ince daneli MC 425 çimentosuna ait granulometrik değerler, bu şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3: Çimento enjeksiyon model deneylerinde kullanılan kum ve çakılın granulometrik dağılımları

Deneylerde kullanılan kum ve çakıla ait geoteknik özellikler Tablo. 1'de verilmiştir. Söz konusu deneyler TS1900 Standartlarına göre yapılmıştır (8).

Tablo 1: Deneylerde Kullanılan Kum ve Çakılın Geoteknik Özellikleri

| Zemin Cinsi | γ_{min} t/m ³ | γ_{max} t/m ³ | ϕ içsel sürtünme aç. | | G_s | e_{max} | e_{min} |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|-------|-----------|-----------|
| | | | $D_r = 0.32$ | $D_r = 0.85$ | | | |
| Kum | 1.58 | 1.83 | 37 | 43 | 2.64 | 0.67 | 0.43 |
| Çakıl | 1.62 | 1.75 | 42 | 45 | 2.67 | 0.65 | 0.53 |

Deneylerde kullanılan çimento OYSA Niğde çimento fabrikalarından alınmış olup, bunlara ait kimyasal analizler Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2: PÇ 325 ve MC 425 Tipi Çimentoların Kimyasal Analizi

| Çimento Tipi | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Kızdırma Kaybı | Toplam |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|----------------|--------|
| PC325 | 22.4 | 3.5 | 3.2 | 64.5 | 2.1 | 2.4 | 0 | 98.1 |
| MC425 | 23.9 | 5.4 | 2.7 | 65.3 | 1.2 | 1.1 | 0 | 99.6 |

Tablo 3’de bir karşılaştırma yapabilmek amacı ile Normal portland çimentosu PÇ 325 ile daha ince öğütülmüş MC 425 tipi çimentoların fiziksel özellikleri mukayese edilmiştir.

Tablo 3: Normal Portland Çimentosu PÇ 325 ve MC 425 in Fiziksel özellikleri

| | PÇ 325 | MC 325 |
|--|------------|-------------|
| Görünüm | Gri | Gri - Beyaz |
| Özgül Ağırlık | 2.92 ± 0.1 | 2.93 ± 0.1 |
| Birim Ağırlık kg/lt | 1.25 ± 0.1 | 1.05 ± 0.1 |
| İncelik Blaire Öz. Yüzey (cm ² /gr) | 2800 | 7500 |
| % 50 Dane boyutu µ | 50 | 35 |

Deneylerde kullanılan bentonit, Ankara Esenboğa Yolunun 28 km’sinde, Karakaya Bentonit Sanayiinden alınmış olup, bunlara ait teknik özellikler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Deneilerde Kullanılan Sodyum Bentonite Ait Teknik Özellikler

| | |
|-----------------------------------|---------------|
| No 200 elek üstünde kalan | Max. % 2 - 3 |
| Likit Limit LL | 410 - 490 |
| Plastik limit PL | 25 - 42 |
| Nem Miktarı (w % nem) | % 11 - 13 |
| Çamur Yapma (yield) değeri | en az 03 - 90 |
| pH (LL civarında % su kapasitesi) | 9.4 |

Çökeltme deneyleri aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon karışımları, 1 lt'lik mezurlara konmuş, belirli zaman aralıklarında, karışımların çökeltme kısımları altta kalmak üzere, mezurların üst kısımlarındaki su derinlikleri ölçülerek, karışımdan ayrılan su %'leri (kusma veya terleme) miktarları bulunmuştur. Söz konusu bu değerlendirmeler Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

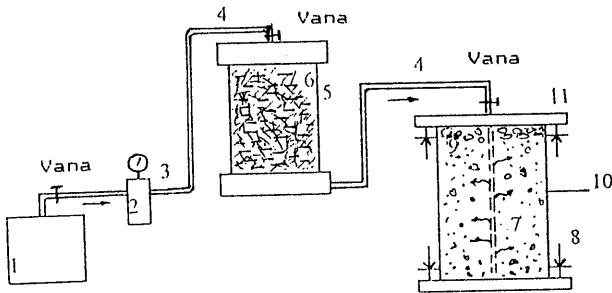
Tablo 5: Normal Portland Çimentosu PÇ 325 Kullanılarak, Değişik Su/Çimento Oranlarında, Bentonit Katkılarının Çökeltmeye Etkisi

| Geçen Süre (dak.) | | Enjeksiyon Materyali | | |
|----------------------|-----|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Çimento | Çimento + % 2 Bentonit | Çimento + % 5 Bentonit |
| | | % çökeltme | % çökeltme | % çökeltme |
| W/Ç = 0.8 | 15 | 1.6 | 0.7 | -- |
| | 30 | 4.3 | 1.5 | 0.6 |
| | 60 | 8.5 | 1.9 | 0.8 |
| | 120 | 17.2 | 2.6 | 1.1 |
| | 180 | 21.1 | 4.7 | 1.2 |
| W/Ç = 1.0 | 15 | 2.5 | 1.8 | 0.7 |
| | 30 | 6.7 | 3.3 | 2.1 |
| | 60 | 12.0 | 4.1 | 3.0 |
| | 120 | 26.3 | 6.0 | 3.7 |
| | 180 | 28.4 | 8.2 | 4.3 |

Tablo 6: İnce Öğütülmüş MC 425 Çimentosu Kullanılarak, Değişik Su/Çimento Oranlarında, Bentonit Katkılarının Çökelmeye Etkisi

| Geçen Süre (dak.) | | Enjeksiyon Materyali | | |
|----------------------|-----|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Çimento | Çimento + % 2 Bentonit | Çimento + % 5 Bentonit |
| | | % çökelme | % çökelme | % çökelme |
| W / Ç = 0.8 | 15 | 1.1 | 0.5 | -- |
| | 30 | 3.5 | 1.3 | 0.5 |
| | 60 | 7.0 | 1.7 | 0.7 |
| | 120 | 12.6 | 3.4 | 0.9 |
| | 180 | 18.7 | 4.2 | 1.1 |
| W / Ç = 1.0 | 15 | 2.0 | 1.5 | 0.6 |
| | 30 | 4.2 | 3.0 | 2.0 |
| | 60 | 10.1 | 3.9 | 2.6 |
| | 120 | 19.6 | 5.7 | 3.1 |
| | 180 | 23.8 | 7.3 | 3.8 |

Çimento enjeksiyon model deneylerinin hazırlanması: Deneyler Şekil 4'de şematik olarak gösterilen enjeksiyon düzeneği ile yapılmıştır. Deneylerde yaklaşık 10 atmosferlik ve 120 lt. kapasiteli bir kompresör kullanılmıştır. İstenilen basıncı ayarlamak ve sabit tutmak için hava regülatörü kullanılmış ve bağlantı hortumları da, bu basınca dayanabilecek tipte bir inç kalınlığında seçilmiştir.



- 1 Kompresör
- 2 Hava Regülatörü
- 3 Manometre
- 4 Plastik Hortum
- 5 Besleme Haznesi
- 6 Çimento Karışımı
- 7 Metal İnce Boru
- 8 Silindir Kalıp
- 9 Çakıl Filtre
- 10 Zemin Numunesi
- 11 Başlık

Şekil 4: Çimento enjeksiyon model deney düzeni

Deneylerde 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde çelik silindir kalıplar kullanılmış ve kalıpların alt kısmı, numunenin çıkartılabilmesi için ayrılabilir olup, üst kısmı açık tutulmuştur. Kalıplar, numunenin deforme olmadan çıkartılabilmesi için her kullanımdan önce yağlanmıştır.

Çimento enjeksiyon model deneylerinde kullanılan Marsh hunisi, karışımın akışkanlığının belirlenmesi için kullanılmıştır. Huninin üst ağız çapı 178 mm, alt ağız çapı 12.7 mm ve yüksekliği 300 mm'dir. Alt ağızdan aşağıya doğru, 38 mm uzunluğunda ve 12.7 mm çapında bir akış borusu mevcuttur. Viskozite ölçümü huniye doldurulan 1725 ± 5 ml hacmindeki karışımın ne kadar zamanda boşaldığı ölçülerek yapılmıştır (9).

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

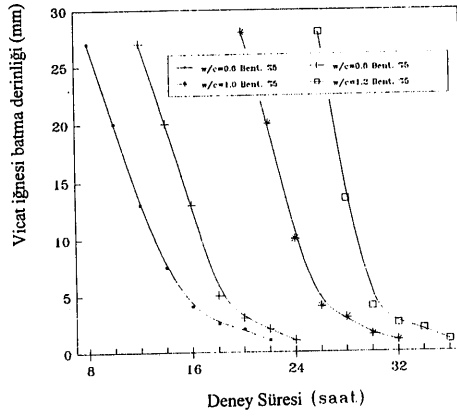
Çimento karışımlarının viskozite değerlerini belirlemek üzere, Marsh hunisi ile yapılan akışkanlık test sonuçları Tablo 7 de verilmiştir.

Tablo 7: Çimento Karışımlarının Viskozite Değerleri

| Karışım Tipi | Su/Çiment. Oranı | Laboratuvar Sıcaklığı C° | Marsh Hunisi Boşalma süresi (saniye) |
|--|---------------------|-----------------------------|---|
| Çimento (% 1 akışkanlık artırıcı katkı) | 0.6 | 16 | 21 |
| | 0.8 | 16 | 18 |
| | 1.0 | 16 | 13 |
| Çimento + % 2 Bent (% 1 akışkanlık artırıcı katkı) | 0.6 | 18 | 33 |
| | 0.8 | 18 | 22 |
| | 1.0 | 19 | 18 |
| Çimento + % 5 Bent (% 1 akışkanlık artırıcı katkı) | 0.8 | 17 | 36 |
| | 1.0 | 18 | 32 |
| | 1.2 | 18 | 27 |

Bu sonuçlara göre, bentonit katkısının akma süresini artırdığı ve su/çimento oranının artışı ile de, viskozitenin azaldığı izlenmektedir. Enjeksiyon etkinliğinin, karışımın akışkanlığı ile yakından ilişkisi olduğu, yani su/çimento oranının artışı ile enjeksiyon sıvısının, zemin boşluklarına nüfuz etme yeteneği artmakta, buna karşılık dayanım değerlerinde belirgin düşüşler olduğu görülmektedir.

Şekil 5’de değişik su/çimento oranlarında çimento/bentonit karışımlarının priz alma süreleri verilmiştir.



Şekil-5: Değişik su/çimento oranlarında çimento/bentonit karışımlarının priz alma süreleri

Normal portland çimentosu ile ince daneli zeminlere enjeksiyon yapılamadığından kum/çakıl oranı düşük tutulan (20/80) örnekler üzerinde, elde edilen test sonuçları Tablo-8 de verilmiştir. Tablo 9 ve Tablo 10 da ise, MC 425 tipi ince daneli çimentolar ile gerçekleştirilen testlerde kum/çakıl oranı 30/70 ve 20/80 olarak uygulanmıştır.

Bu sonuçlara göre, kum/çakıl oranının artışı, dayanım değerlerinin artışına neden olmuş ve bentonit oranının artışı da, dayanım değerlerinde belirgin düşüşler oluşturmuştur.

Tablo 8: PÇ 325 Normal Portland Çimentosu ile Gerçekleştirilen Deneylerde, Enjeksiyonlu Örneklerin Dayanım Değerleri (Kum/Çakıl = 20/80)

| Karışım Tipi | Su/Çiment. Oranı | Dayanımı (Mpa) | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|-------|--------|
| | | Basınç 3 gün | 7 gün | 28 gün |
| Çimento | 0.6 | -- | -- | -- |
| (% 1 akışkanlık artırıcı katkılı) | 0.8 | 5.3 | 8.3 | 12.5 |
| | 1.0 | 4.5 | 6.0 | 9.8 |
| | | | | |
| Çimento + % 2 Bent | 0.6 | 3.2 | 3.7 | 4.5 |
| (% 1 akışkanlık artırıcı katkılı) | 0.8 | 2.2 | 2.9 | 3.4 |
| | 1.0 | 1.6 | 1.8 | 2.2 |
| | | | | |
| Çimento + % 5 Bent | 0.8 | -- | 3.5 | 4.4 |
| (% 1 akışkanlık artırıcı katkılı) | 1.0 | -- | 3.1 | 3.7 |
| | 1.2 | -- | 2.2 | 2.8 |
| | | | | |

Tablo 9: MC 425 İnce Daneli Çimento ile Gerçekleştirilen Deneylerde, Enjeksiyonlu Örneklerin Dayanım Değerleri (Kum/Çakıl = 30/70)

| Karışım Tipi | Su/Çiment. Oranı | Dayanımı (Mpa) | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|-------|--------|
| | | Basınç 3 gün | 7 gün | 28 gün |
| Çimento | 0.6 | 5.8 | 10.2 | 14.6 |
| (% 1 akışkanlık artırıcı katkılı) | 0.8 | 5.3 | 9.8 | 12.0 |
| | 1.0 | 4.6 | 6.5 | 8.3 |
| | | | | |
| Çimento + % 2 Bent | 0.6 | 2.1 | 3.9 | 4.8 |
| (% 1 akışkanlık artırıcı katkılı) | 0.8 | 3.0 | 3.2 | 4.1 |
| | 1.0 | -- | 2.2 | 3.6 |
| | | | | |
| Çimento + % 5 Bent | 0.8 | 2.2 | 3.6 | 4.0 |
| (% 1 akışkanlık artırıcı katkılı) | 1.0 | 2.5 | 3.5 | 3.8 |
| | 1.2 | -- | 2.6 | 2.9 |
| | | | | |

Tablo 10: MC 425 İnce Daneli Çimento ile Gerçekleştirilen DeneYlerde, Enjeksiyonlu Örneklerin Dayanım Değerleri (Kum/Çakıl = 20/80)

| Karışım Tipi | Su/Çiment. Oranı | Dayanımı (Mpa) | | |
|---|------------------|----------------|-------|--------|
| | | Basınç 3 gün | 7 gün | 28 gün |
| Çimento (% 1 akışkanlık artırıcı katkı) | 0.6 | 6.7 | 12.3 | 15.8 |
| | 0.8 | 7.9 | 10.1 | 13.7 |
| | 1.0 | -- | 8.7 | 10.1 |
| Çimento + % 2 Bent (% 1 akışkanlık artırıcı katkı) | 0.6 | 3.8 | 4.5 | 5.7 |
| | 0.8 | 2.9 | 3.6 | 4.3 |
| | 1.0 | -- | 2.9 | 3.6 |
| Çimento + % 5 Bent (% 1 akışkanlık artırıcı katkı) | 0.8 | 3.2 | 4.2 | 4.8 |
| | 1.0 | 3.3 | 3.6 | 4.0 |
| | 1.2 | -- | 2.7 | 3.3 |

5. SONUÇ

Büyük kentlerde, tünel, galeri temel tahkimatı gibi yeraltı inşaatlarında, patlayıcı madde kullanımı, diğer binaların temellerinde olumsuz etki yaratacağından, bu tip inşaatlarda, özellikle dolgu işleri ve geçirgenliğin azaltılması istendiğinde çimento enjeksiyonlarında çökelmeyi önlemek ve akışkanlığı artırmak için % 2 - 5 oranlarında bentonit kullanılması uygun olup, dayanım değerlerinde bir miktar düşüş göz öğnüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- 1 - İncecik.M.Özocak, A "İnce Daneli Çimento Enjeksiyon Model Deneyleri", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5.Ulusal Kongresi. s. 486 - 497,1994,ODTÜ Ankara.
- 2 - Yalçın,A., "Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları".TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını ,1990. Ankara .
- 3 - Ceren İ,İncecik M ,İyisan R. "Çimento Enjeksiyonu Model Deneyleri".Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi , s.114-132 ,1992 İstanbul.
- 4 - Littlejohn G.S "Design of Cement Based Grouts". Grouting in Geotechnical Engineering pp 35-48 ,1982, New Orleans,USA.
- 5 - Özocak A İnce Daneli Çimento ile Enjeksiyon Model Deneyleri, 1994, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul.
- 6 - Jefferis,S.A "Effect of Mixing on Bentonite Slurries and Grouts".Grouting in Geotechnical Engineering,England,1982, pp 63-75.
- 7 - Bozkurt A,Albayrak,Z "Bentonit Özellikleri ve Enjeksiyonda Kullanma Yerleri" DSİ Genel Müdürlüğü Ankara , 1977
- 8 - TS 1900 , Zemin Deneyleri, 1987. Ankara.
- 9 - ASTM C 939-87 Standart Tests Method for Flow of Grout Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method), U.S.A .1981

