

EYS kuralı ile enjeksiyon projelendirmesi ve kontrolü

GXombardi, D.U. Deere

(Water Power and Dam Construction, June, 1993)

Çeviren : *Adil Öktem* D.,SX Bölge Müdürlüğü, Antalya

Bu makalede kütlelerinin enjeksiyonunda geliştirilen EYS yöntemi sunulmaktadır. Yöntemin ana unsurları 1- enjeksiyon işleminde ağırlıkça S/Ç oranı 0.67 - 0.81 arasında olan ve karışımın sokulabilirliğini arttırmak için süper akışkanlaştırıcı katılmış tek tip karışım kullanılması; 2- düşükten ortay değişen düzenli pompalama debisi altında belirli bir süre aşılmaya karışımın kaya çatlaklarına daha fazla sokulmasını sağlamak için enjeksiyon basıncının göreceli olarak artırılması; 3- PC grafikler aracılığı ile basınç, akış oranı» basılan miktar ve sokulabilirliğin zamana karşı; işlem anındaki eğrilerinin çizilerek gözlenmesi ve 4- enjeksiyon seyrinin; görüntülenen basınç - toplam alış diyagramının sınırlama basıncı, sınırlama hacmi veya enjeksiyon yoğunluk eğrilerinden birisiyle (ki bunlar seçilmiş EYS hiperbolik eğrisi tarafından belirlenmiştir) kesiştiğinde enjeksiyona ara verilmesidir. EYS hiperbolik eğrisi tüketilen enerjinin bir ölçümü olarak sabit bir pxV eğrisidir. Deneyimler bir çok ülkenin büyük hidroelektrik projelerinde kullanılan yöntemin teknik ve ekonomik açıdan etkili olduğunu göstermiştir.

— —

Kaya kütlelerinin mekanik ve hidrolik, özelliklerinin çimento karışımları kullanılarak iyileştirilmesi inşaat mühendisliği uygulamalarında oldukça iyi gelişim göstermiştir. Bu uygulamalar sık sık dogmatik inançlara - sürüdüense de baş parmak kuralı ve kişisel veya kurumsal deneyirelecece yönlendirilmiştir.

Yazarlar son 25 yıllık dönemde; çeşitli, ülkelerdeki inşaat halindeki büyük hidroelektrik projelerin; projeci-

si., jeoteknik mühendisleri, jeologları ve arazi kontrol mühendisleri ile sık sık bir araya gelerek enjeksiyon işleminin laboratuvar deneyleri,, teori ve arazi araştırmaları ile birlikte daha iyi anlaşılmasına çalışmışlardır. Farklı enjeksiyon karışımlarının kohezyon (Yield, mukavemeti) ve dinamik viskozitesi, akış ve sokulum özellikleri üzerine, yapılan, teorik çalışmalar, enjeksiyon basınçları ve alışları üzerindeki arazi gözlemleri; yazarları bu makalede tartışılacak olan Enjeksiyon Yoğunluk Sayısı (Grouting Intensity Number, EYS) kavramına yöneltmiştir.

Sunulan yorumlar taneli zeminler için. de kullanılabilirse de; bu makale yalnızca, kaya kütlelerinin enjeksiyonu ile ilgilidir. Yeraltı işleri ve konsolidasyon enjeksiyonlarından daha ziyade enjeksiyon perdelerine- önem verilmiştir. Gerçekte EYS yöntemi perde dışındaki işlerde de- bir kaç kez uygulanmıştır.

Bu makale enjeksiyonda gelinen seviyeyi ve son yıllarda yayınlanan kitaplarda belirtilen durumu gözden geçirmeyi amaçlamamaktadır. Bununla birlikte temel teorik bilgi ve EYS yöntemine ulaşmayı, sağlayan teorik ve pratik bilgiler özet olarak, verilmiştir. Kabullerin kanıtlanmış etkinliği,, daha. başarılı sonuçlar, basitlik ve daha. ekonomik enjeksiyona ulaşma; yazarları yöntemi daha geniş kitlelere ulaştırmaya yöneltmiştir.

Enjeksiyon akışı ve sokulumunun teorik kabullen

Su ve yağ gibi fewtoniyen akışkanlara benzemeyen akışkanların reolojik davranışları yalnızca viskozite parametresi ile belirlenirken, durayh bir enjeksiyon, karışımı akış sırasında viskozite ve kohezyonun (Yield mukavemeti) etkisi altında Bingham akışkanı gibi davranır. Her ikisi de akışa direnç gösteren parametrelerdir, viskozite akış oranını yönlendirirken kohezyon (enjeksiyon uygulamasında belirli bir basınç altında, ve belirli, bir .kaya çatlak açıklığında) hareket uzaklığını yönlendi-

rir. Geliştirilen formüller maksimum hareket uzaklığı- nı, maksimum miktan ve maksimum hidrolik kaldırma kuvvetlerini hesaplamada kullanılmaktadır. (6-11)

Bu ...noktada maksimum hareket uzaklığı; doğru orantılı olarak uygulanan enjeksiyon basıncına ve çatlak açıklığına bağlı iken. ters orantılı olarak da karışımını kohezyonuna bağlıdır., Bm durumunda; ince kaya çatlaklarında enjeksiyonun- sokulumunu arttırarak için ya basınç arttırılmalıdır veya. kohezyon azaltılmalıdır veyahut her ikisi de yapılmalıdır.

Muhtemelen Bingham akış eşitliğinin en büyük değeri enjeksiyon işlemi, sırasında sağlanmaktadır. Bu değer' faktöre bağlı olarak kaya çatlaklarına enjeksiyon sokulumunu ve enjeksiyon işlemi sırasında yaratılan aynra kuvvetlerini etkiler. Doraylı karışımlar (1 OTO mi silindir numune üzerinde 2 saat sonraki çökmesi %5'den az olan) yaklaşık Bingham akışkanı davranışı gösterirler, bu eşitlikleri duraysız ve sulu. karışımlara uygulamak olanaksızdır. Çimentonun su içinde duraysız olduğu ince karışımlar veya bulamaç süspansiyonlarda; kaya. çatlakları içinde enjeksiyon akışı sırasında aşın çökme» erozyon, yeniden süspansiyona dönüşme ve yeniden çökme davranışlarının görülebileceği beklenebilir. Bu durumları Bingham. akış veya benzeri denklemlerle öngörmek ve karakterize etmek olanaksızdır.

Aşağıda karışımın, seçimine etki. eden diğer etmenler açıklanmıştır.

Karışımın seçimi

Kalın ve ince karışımlar üzerine tartışmalar daha uzun yıllar sürecektir.. Yazarlar 1985 yılından bu. yana tercihlerini kalın karışımlar yönünde kullanmışlardır (5-11). Çökelmeyi azaltma ve karışımı durayh hale getirme amacıyla karışıma %1-2 oranında bentonit katılması işlemi; akışkanlaştırıcı kafa maddesi eklenmiş yüksek miktarda çimento içeren karışımların kullanılması ile yer değiştirmiştir. Bu tür karışımlar az kohezyon nedeniyle duraylıdır ve daha fazla sokulabilirliği ile katılma sonunda daha fazla, mukavemete ulaşırlar.

Geleneksel olarak kalın karışım savunucuları; kalın karışımların enjeksiyon işlemi ve karışımın katılmasından sonraki kullanım süresi içerisinde birçok avantajları olduğunu belirtmişlerdir.

İnce karışımlarla kıyaslandığında kalın, durayh karışımlar enjeksiyon sırasında aşağıdaki avantajlara, sahiptir:

- düşük akış şartlarında çimento tanecikleri, daha. az çökler

- akış yollarının, dar zonlarında sokulum veya sıkışma şartlarında, az. kanama suyu, (bleeding water) bırakması nedenleriyle daha. az yalancı bloklama olm*

- zamana ve mesafeye bağlı yüksek duraylılık. (belirlenen kohezyon. ve dinamik, viskozite ile Bingham akışkanı) ve

- karışımın kohezyonunun sonucu olarak enjeksiyon kuyusundan uzakta hızlı basınç düşüm nedeniyle hidrolik ayrılma veya hidrolik kaldırma da denilen hidrolik kırılma ve jeolojik tabakaların altkaldırma riskinin azlığı. Böyle bir durum oluşsa, bile- çatlaklar yüksek kalitedeki, karışımla dolacaktır.

Katılmış enjeksiyonun kullanımı süresince ince karışımlara oranla kalın karışımların -avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- katılma sırasındaki az büzülmenin sonucu olarak kaya çatlaklarının duvarları boyunca büyük bükülme (bond) direnci ve bunların yeniden açılma olasılığı, azdır,

- yüksek, çimento' içeriğinin sonucu olarak yüksek, yoğunluk ve yüksek mekanik özellikler göstermesi ve bu nedenle hamlanma ve erozyona, karşı yüksek direnç göstermesi ve

- az boşlukluluk, az geçirimsizlik ve yüksek bükülme kuvvetine bağlı olarak yıkanmaya karşı yüksek, mukavemet ve baraj kullanımı süresince yüksek, duraylılık.

İnce karışımlarla karşılaştırıldığında kohezyonu nedeniyle durayh karışımları aynı uzaklığa ulaştırabilmek, için yüksek, basınç: gerekir. Bununla, birlikte karışım eklenen az miktardaki akışkanlaştırıcı sayesinde karışımın viskozite ve kohezyon parametreleri aşağı iner. -

Mevcut uygulama; arzulanan yoğunluk ve mukavemeti elde etmek için bir çok. büyük projede ağırlıkça S/ Ç oranı olarak 0.67 - 0.81 arasındadır., Ve enjeksiyonun yerleştirilmesi sırasındaki kohezyonunu düşürmek için karışıma az miktarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi eklenmiştir. Farklı çimento ve farklı akışkanlaştırıcılar kullanılarak elde edile« karışımların akış, çökme, katılma ve- mukavemet özellikleri laboratuarlarda test edilmiştir.

Kohezyon ve viskozite özellikleri laboratuarda konsantrik (consentrie) silindirik döner viskozimetrelerde saptanabilir (5-6). Bu alet kaçıma daldırılmadan önce ve sonra tartılan 1.5 mm kalınlığında, 100x100 mm boyutlarında çelik bir levhadır,.. Ölçülen ağırlıklar iki yüzeyin toplam alanına bölünür ve değerler arasındaki fark kesme mukavemeti birimi olarak kohezyon para-

metresini verir., Bağlı kobezyon değeri (Cr); kohezyon (C) değerinin,, karışımın birim ağırlığına (g) bölünmesiyle ifade edilebilir ($Cr = C/g$), Genel olarak mm cinsinden: ifade edilir' ve kalın karışımlar için bu değer¹ 0.2 - 0.35 mm arasındadır, Katkı maddesi ile by. değer tavsiye edilen değer- olan 0.08 - 0.15 mm. düzeyine iner. Elde edilen Cr değeri, gerçekte kohezyon levhasının her bir yüzeyine yapışan karışımın kalınlığıdır. Kohezyon levhası; üzerinde kırıntılar tarafından oluşturulan kesişen yivlerden temizlenmelidir. Bu: nedenle çelik yüzey ile enjeksiyon karışımı arasındaki yapışma; levha yüzeyine yapışan enjeksiyon tabakasının yüzeyi ile geride kalan .arasındaki kohezyondan daha büyük, olacaktır... Aksi durumda butun enjeksiyon kayıp gidecektir.

-Laboratuarda elde edilen diğer tipik, değerler' özgül ağırlık. 1.59 - 1.67 t/m³ (99-2 - 104.2 Wft³), Mars hunisi akış zamanı 29 - 32 s ve 28 günlük mukavemeti 15 - 20 MPa (2250 - 3000 Ib/in²) şeklindedir.

Gözöünde bulundurulması gereken diğer¹ bir husus, yeraltı su tablası üzerinde kuru kay ortamında yapılan enjeksiyon kalınlaşabilir ve bo ise karışımın kohezyonunu (ve içsel sürtünmeyi) artırarak enjeksiyonun basılamayacağı noktaya ulaşmasına neden olur. Bunu önle* mek için enjeksiyondan önce,, enjeksiyon yapılacak ortama belirli, bir süre so basılarak doygun hale getirmek, ihtiyatlı bir tedbirdir. Ayrıca karışıma su tutucu katkılarda katdabilinir.

İnce çatlaklı kayanın enjeksiyonunda, enjeksiyonun sokulumo karışımın aşırı su ile seyrelmesinden daha ziyade çimento tanelerinin, ve toprakların boyutuna oaglıdır. Bu nedenle yüksek sokulum özelliğini sağlamak için karışımı so. ile inceltmek yerine; akışkanlaştırıcı ve ince çimento ile birlikte yüksek enjeksiyon basıncıları kullanılmalıdır.

Laboraiovarda yapılan, araştırmalar sonucunda arzu-lanan mekanik özellikleri taşıyan karışım belirlendikten sonra, bir projenin, bütün enjeksiyon işlemlerinde aynı. karışım, kullanılmalıdır. Tek tip karışım kullanmanın diğer bir yararı ise enjeksiyon işleminde büyük kolaylıklar sağlamasıdır,

Enjeksiyon, işlerinin projelendirilmesi

Bir enjeksiyon, perdesinin projelendirmesi aşağıdaki ana hususları içerir. Karışım., koyu, aralığı ve derinlik,, enjeksiyon sırası» hacim ve basınç sınırlaması da dahil enjeksiyon işlemi ve arazideki kontrolün tanımlanması.. Çalışılacak: sahanın jeolojisinin çok iyi bilinmesi bu hususların belirlenmesinde- çok. büyük yararlar- sağlayacaktır. Özellikle; enjekte edilecek, kaya kütlelerinin süreksizliklerinin tip, sıklık, çatlak açıklığı* pürüzlülük, alte-

raşyon veya dolgululuk ve ozanımı gibi fiziksel özellikleri, önemlidir. Gerilmelerin yerindeki durumu ve yeraltı suyu da gözönünde bulundurulmalıdır.

Mevcut jeolojik ve jeoteknik koşulları yelerince bilinmesine ek. olarak projenin gerilim aşamasındaki değişimler ve hidrolik basınçların zamana bağlı değişimleri (rezervuarda su tutma ve- su. boşaltma aşamaları gibi) hesaba katılmak zorunluluğundadır.

Bu makale bütün bu konularda söylev vermeyecek. yalnızca daha. önemli, olan hususlara değinecektir.,

EYS yönteminin gelişimi

Açık, geniş çatlakların enjeksiyonu

Uygulamadaki gözlemler ve kuramsal çalışmaların her ikisi de kaya kitlelerindeki geniş ve açık çatlakların enjekte edilmeye .hazır olduklarını göstermektedir. Karışımın yayılım uzaklığı oldukça yüksektir (bir kaç on. metre gibi), tşte bo gibi durumlarda enjekte edilecek karışım miktarını ve yayılım uzaklığını azaltmak; hem uygulama hem de ekonomik açıdan .gereklidir. Bo sınırlama 3 değişik seçenekle yapılabilir. 1- Sokulumu az karışım, (kalın ve yüksek kohezyonlu) kullanmak, 2- enjeksiyon. basıncım ve 3- karışım miktanoı sınırlamak.

Sınırlama kriterinin saptanmasından önce kaya kütlelerinde ince çatlakların da olabileceği dikkate alınmalıdır. Geniş ve açık çatlakların dolması aşamasına kadar enjekte edebilmek oldukça zordur. Ancak; ilk aşama enjeksiyon, sırasında bu çatlakların bir- kısmını enjekte etmek arzu edilir., Bu nedenle karışım kalınlaştırılmalı süper akışkanlaştırıcı katkılar ile orta kalınlıkta ve duraylı olmalıdır. Basıncı sınırlama seçeneği ise ince çatlakların enjeksiyonunu azaltacağından cazip değildir. Geriye en. uygun çözüm olarak .miktar sınırlama seçeneği kalmaktadır...

ince çatlakların enjeksiyonu

Geniş veya açık çatlakların enjeksiyonundan sonra veya enjekte edilecek bölgede bu tür çatlakların olması, durumlarında önceliği, ince çatlaklar alır. Böyle bir enjeksiyon, düşük kohezyonlu ie.ee karışım veya yüksek basınç kullanılarak sağlanabilir... Yüksek akışkanlaştırıcı,, orta kalınlık yüksek kaliteli karışım ile 'birlikte basıncı yükseltmek oldukça yaygındır, tice karışımların yayılım. 'uzaklığı azdır. Çünkü enjeksiyon basıncı uygulandığı kuyunun çevresinden uzaklaştıkça .hızlı bir şekilde azalır. Toplam, alt kaldırma basıncı yüksek enjeksiyon'basınçlarında bile bir kural olarak üstteki kütlelerin ağırlığından az olmalıdır. Üstteki 5 - 10 m'lik kısım, hariç kaya çatlaklarında ve tabakalanma düzlemlerinde hidrolik kırılma, nadiren karşılaşılan bir sorundur, Sonuç olarak enjeksiyon alışlarının, az oldu-

ğu durumlarda 30 - 40 bar's kadar olan oldukça, yüksek enjeksiyon basınçları (ki enjeksiyon aralıklarında 3 - 5 Mpa (425 - 570 lb/10²) olarak hesaplanmıştır) kabul edilebilir' basınçlardır.

Bu, faktörler gözönünde bulundurulduğunda; alış az olduğunda önerilen enjeksiyon basıncı günlenme, tabakalaoma, zayıf zonlar, gerilmelerini yerindeki durumu ve diğerleri, gibi jeolojik koşullara, gelecekteki su basıncına ve arzulan enjeksiyon yoğunluğuna bağlı olarak 30 - 50 bar (3 - 5 MPa) aralığında önerilmektedir. Böylelikle EYS prensibinle ilk iki ögesi ortay çıkmış olmaktadır. Karışımın düşük basınçlarda kolayca verilebildiği durumlarda miktar sınırlaması ve karışımın güçlüğüle girebildiği durumlarda ise basınç sınırlaması... Geriye ara. oranlar kalmaktadır. Ancak bo ara oranların belirlenmesinden önce diğer enjeksiyon kabullerine kısaca göz atmak yararlı olacaktır.. . •

Enjeksiyon kuyularında serî olarak, araya girme

Genel uygulama olarak çevreyi fazla etkilememeleri için birincil kuyular¹ az geniş (10-12m) aralıkla açılarak enjekte edilmektedir. Genellikle diğer birincil kuyulardan, önce araştırma kuyusu olarak, hizmet etmeleri için her üçüncü veya dördüncü birincil kuyuların delinerek enjekte edilmesi belirtilmiştir. Bo kuyular genellikle karotiu olarak, ve toplam derinliklerinin 0.75 x H¹ derinliğine (H= gelecekteki rezervuar yüksekliği.) kadar su tesüi olarak açılırlar. Diğer birincil kuyuların derinlikleri ilksel, araştırma kuyularından elde edilecek sonuçlara bağlı olarak düzenlenebilir* İkincil kuyular- birincil kuyuların arasına gelecek şekilde açılırlar., Bu kuyular birincil kuyulardan 5 - 6 m uzaklıkta, oldukları için zaman zaman katılmış enjeksiyon karışımları ile özellikle geniş çatlaklarda, karşılaşabilirler. Genel olarak alış miktarları birincil kuyulara nazaran .azdır.. Yeniden 2.5 - 3 m aralıklara girilerek açılan üçüncül kuyular daha az alışlı ve bo kuyulardan 1.25 - 1.5 m uzaklıktaki dördüncü kuyular ise kabul edilebilecek oranda düşük enjeksiyon alışı ile sonuçlanırlar.

Her bir fazdan, sonra; kayanın oldukça geçirimsiz, dununa gelmesi nedeniyle bir sonraki aşamaya enjekte edilememiş ince çatlaklar kalır ve bu durumda etkili bir enjeksiyonu sağlamak, için yüksek basınç uygulamak yararlı olur. Böylece EYS prensibinin üçüncü faktörü şu. şekilde tanımlanabilin aşamalı olarak ince çatlakları enjekte edebilmek ve kayayı sıkılaştırabilmek için aşamalı, yüksek basınç uygulamak..

Basınçlı, su deneyleri (Lugeon)

Basınçlı se deneyi (Lugeon deneyi) enjeksiyon karışımını belirlemeye yardımcı olması amacıyla sıkça uygulanır. Deneyimler ve teori Lugeon değerleri ile enjek-

siyon alışları arasında çok zayıf ilişki olduğunu göstermiştir.. Lugeon veya. benzeri deneyler İnalda kullanılmaktadır.. İlksel araştırma kuyularında bu deney yardımıyla.; yamaçlar ve baraj temeli bölgelerindeki geçirimsizlikle ilgili genel bilgi sahibi olunur., Geçirimsizlikte yeterli bir azalmanın olup olmadığına göre bilmek için enjeksiyondan sonra açılan kontrol kuyularından edilen değerlerle karşılaştırma, yapılır.

EYS yöntemi

Tüketilen özgül enerji

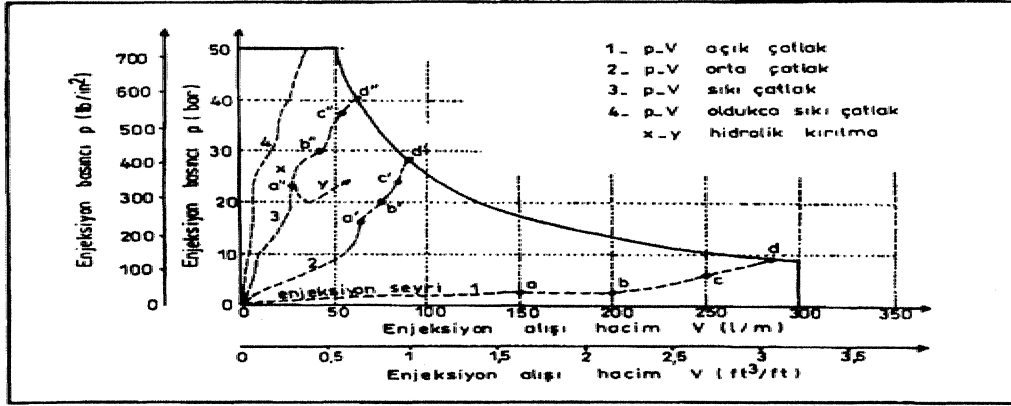
Bir kaya zonunu daha yoğun enjekte edebilmek için daha fazla enerji tüketilmelidir... Bir enjeksiyon aialığındaki tüketilen enerji yaklaşık olarak nihai enjeksiyon basıncı (p) ile enjekte edilen miktarın (V) çarpımının ürünü (pxV) ile doğru orantılıdır. **pxV** sayısı; Enjeksiyon Yoğunluk Sayısı (EYS) olarak adlandırılır. Alış, kademenin boyu düşünülerek litre / metre (l/in) olarak hirimlendirilir (veya çimento ağırlığı olarak **kg/m** kullanılır; çünkü, orta kalın karışımlar için sayısal değerler %5-% 10 aralığında birbirlerine benzerler).. Her ne kadar diğer birimler uygun dönüştürmeler yapmak için açıklıkla kullanılabilirse de basınç, için genellikle bar birimi kullanıldığından; sonuç olarak EYS'nin veya pxV'iin birimi, bar x l/m'dir,

EYS sabiti **kullanımının** avantajları

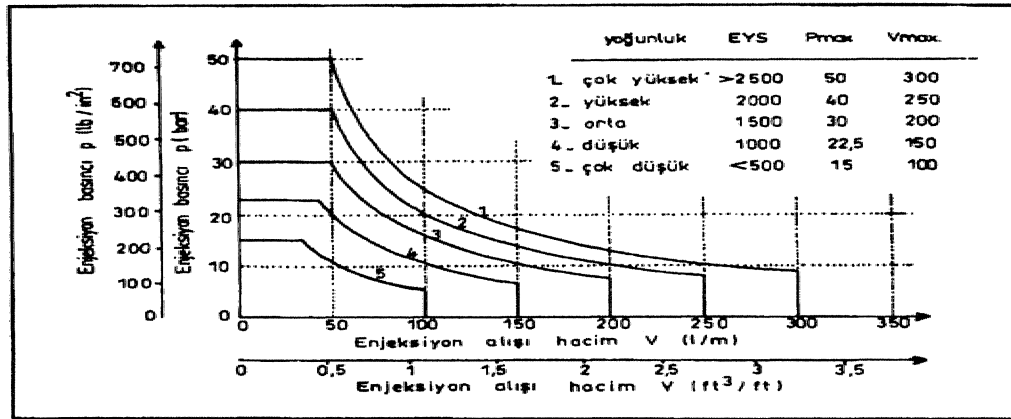
EYS yönteminde öncelikle enjeksiyon yoğunluk seviyesinin seçilmesi gerekir (200 bar x l/m gibi) bu değer; düşük, basınçlarda yüksek alışlar yapan, kolayca enjekte edilebilen çatlaklar ile oldukça yüksek basınçlarda düşük alış yapan ince çatlaklarda kullanılmalıdır. Böylelikle sabit, bir EYS değeri kullanılmış olur.,

Bütün enjeksiyon aşamalarında EYS değerinin- sabit tutulması ile- enjeksiyona sabit bir yaklaşım, sağlanır ve açık ve geniş çatlaklarda miktar otomatik olarak, sınırlanırken, sıla ve az enjeki edilebilir zonalarda ise basınç **arttırılır**. Böylelikle büyük, altkaldırma basınçları veya hidrolik ayırma kuvvetlerinin oluşmasını sağlayabilecek yüksek basınç; ve- yüksek alış kombinasyonları elemine edilmiş olunur.. Benzer şekilde ince çatlakların uygun, olmayan koşullarda enjekte edilmesini sağlayabilecek düşük basınç ve düşük alış kombinasyonları da elemine edilir.

Sabit bir EYS değeri; basınca karşılık gelen hacim grafiğine yerleştirildiğinde hiperbolik, eğri oluşur. Enjeksiyon yoğunluğu, veya EYS değerinin yüksekliği; eğrinin merkezden en uzak noktaya ulaşması sonucu verir. Böylelikle- önceki bölümlerde tartışılan, iki limiti birleştiren eksik faktörler tamamlanmış olmaktadır; hacim sınırlama hattı ve basınç sınırlama hattı. Bu üç



Şekil 1. Enjeksiyon seyri eğrilerinden örnekler.



Şekil 2. Enjeksiyon için sınırlama zarfları.

faktörün kombinasyonu enjeksiyon için bileşik sınırlama zarfını verir.

Farklı enjeksiyon yoğunlukları için birleşik sınırlama zarfı

Şekil 1'de üç tip çatlakın p-V seyri verilmiştir. 1 nolu eğri basınçtaki az yükselmeye karşılık yüksek alışı sonuçlanan bir açık çatlak gösterir; 2 nolu eğri basınç dereceli artımına, karşılık alışı noktada, artan orta çatlak gösterir. Ancak, a noktasından sonra basınç hızlı bir şekilde artarken enjeksiyon sokulumuna karşı direncin artışı arasında ters orantı vardır. 3 nolu eğri enjeksiyon alışının az olduğu ve basınç hızla artmasına neden olan sıkı çatlak temsil etmektedir. Benzer olarak 4 nolu eğri ise çok az alışı ve yüksek refü basıncını gerektiren oldukça sıkı çatlak temsil eder.

Şekil 2 farklı enjeksiyon yoğunlukları için önerilen 5 sınırlama zarfını göstermektedir. Basıncı ve hacimi sınırlayan EYS değeri; gerçekte enjeksiyon için sınırlama zarflarını belirleyen üçten fazla veya az parametredir. Önerilen tanımlamada bu değerler birbirleriyle ilişkili gibi görünseler de gerçekte değildir. En üst zarf

EYS= 2500 bar x l/m; 50 barlık çok yüksek sınırlama basıncı ve 300 l/m'lik çok yüksek sınırlama hacmine karşılık gelen; çok yüksek yoğunluktaki enjeksiyonu temsil etmektedir. En alt zarf ise 500 bar x l/m'lik EYS değeri ile minimum basınç olarak 15 bar ve sınırlama hacmi olarak 100 l/m'lik çok düşük yoğunluklu enjeksiyonu temsil etmektedir. Bir çok durum için yazarlar; EYS= 1500 bar x l/m, sınırlama basıncı olarak 30 bar ve sınırlama hacmi olarakta 200 l/m olan orla yoğunluktaki zarfı önerirler.

Jeolojik olarak kritik olan bölgelerde (yüze yakın veya dik eğimli) çok düşük yoğunluklu eğri (Şekil 2 No. 5) uygulanabilir. Şekil 1 ve 2'nin kombinasyonundan kolaylıkla anlaşılmaktadır ki; enjeksiyon işlemi, seçilen enjeksiyon, zarfına bağlı olarak Farklı noktalarda durdurulacaktır.

Şekil 1'deki 1 nolu eğride enjeksiyon işlemine 150 l/m'lik hacim, sınırlamasına 3 bar basınçta ulaşılan bir noktada ara verilebilir. Bununla birlikte projeci orta yoğunluktaki zarfı seçmiş ise 200 l/m'lik hacme 3 bar basınçta ulaşılan b noktasına, kadar enjeksiyon sürdürülecektir. 250 l/m'lik sınırlama hacmine 6 bar da ula-

şan c noktasına kadar enjeksiyona devam edilebilmesi için yüksek, yoğunluklu enjeksiyon seçilmelidir. Sonuçta eğer çok yüksek yoğunluk seçilmiş ise enjeksiyon d noktasına kadar devam edecektir. İşlem. EYS= 2500 eğrisini kesmedikçe yalnızca hacim sınırlaması nedeniyle durdurmamalıdır. Eğriyi kestiği d noktasında enjekte edilen miktar 285 l/m. ve nihai Basınç ise 9 bar olacaktır. Tanımlanan EYS'ye göre miktar 150 - 285 l/m arasında değişirken, basınç 3 - 9 bar arasında olacaktır.

Şekil 1'deki 2 nolu egride a noktasındaki miktar 60 l/m ve basınç 13 bar civarında olacaktır. Enjeksiyon 2'ye kadar sürdürülseydi, çok; yüksek yoğunluklu enjeksiyona (px.V= 2500) karşılık gelecekti: ancak, enjeksiyon alışı 90 l/m'ye yükselirken basınç, 28 bar gibi sınırlama basınç değeri. 50 tarttan oldukça az bir noktaya çıkacaktı. Benzer olarak 3 nolu egride seçilmiş EYS kriterine ve basınç 28 bar gibi sınırlama basınç değeri. 50 tarttan oldukça az bir noktaya çıkacaktı.. Benzer olarak 3 nolu. egride seçilmiş. EYS kriterine ve basınç sınırlamasına bağlı olarak enjeksiyon a" ve d" noktaları arasında sürdürülecekti. x-y parçası ise; bir çatlak veya tabakalanma düzleminin bir güçle aniden açılarak; ani basınç düşmesi ve yüksek alışı neden olan. hidrolik kırılma veya hidrolik ayrılmanın sonucudur. Düşük oranlarda ise; seçilmiş EYS eğrisine ulaşıncaya kadar enjeksiyon sürdürülebilir fakat basınç artarsa aynı basınçta veya. çok az üzerinde' hidrolik kırılma. olayı ile karşılaşabilir. Böyle durumlarda enjeksiyona, devam edilip edilmemesi konusunda tereddütler vardır. Bununla birlikte çoğunlukla herhangi büyük bir problemle karşılaşılmaz. Sınırlama, çizgisine ulaşmanın hemen öncesinde veya hemen sonrasında enjeksiyon durdurulmalıdır.

EYS değerinin seçimi

Baraj projecileri ve projecinin jeoteknik ve enjeksiyon uzmanları., enjeksiyon, perdesi için EYS değerini seçmelidirler. Yazarlar jeolojik koşullar, gelecekte'ki su kayıplarının miktarı ve su tutma, sonrası oluşacak ait kaldırma basınçlarını göz önünde bulundurarak başlangıç olarak 1500 bar x l/m gibi ortalama değeri önerirler. Özel durumlarda projeci ve arazi kontrol mühendislerince; üst. basınç sınırı ve üst miktar sınırı değiştirilebilir. Sınırlama, enjeksiyon zarfım seçmeden önce muhtemelen en iyi yaklaşım bir veya iki enjeksiyon testi yapmak olacaktır.

Rezervuar derinliklerinin farklılığından ötürü, yamaçlardaki basınç sınırlaması vadi tabanına oranla daha az olabilir. Kıymete değer bir amaç olarak sınırlama basıncı rezervuar basıncının en azından iki katı olmalıdır. Fakat bu durumda istenmeyen hidrolik kırılmaları önlemek zor olabilir.

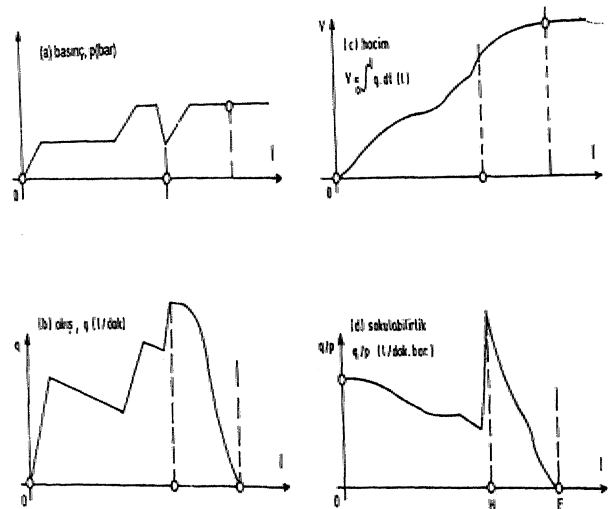
Bilgisayar kontrollü enjeksiyon

Enjeksiyon sahalarında kişisel bilgisayarların kolayca yerleştirilmesi ve kullanılabilmesi; bilgisayarların enjeksiyon işleminde anında kontrolü (real - time controlling) yapabilmelerini olanaklı kılmıştır.. Bilgisayar tarafından, yalnızca gerçek enjeksiyon basıncı (p) ve akış oranı (q) değerlerinin sürekli okunması gerekir. q değeri birim, uzunluğa enjekte edilen toplam hacim V değerinden yararlanılarak elde edilir. Eğer istenirse toplam, enjekte edilen miktar (V) doğrudan ve akış oranı ise dönüştürülerek ölçülebilir.

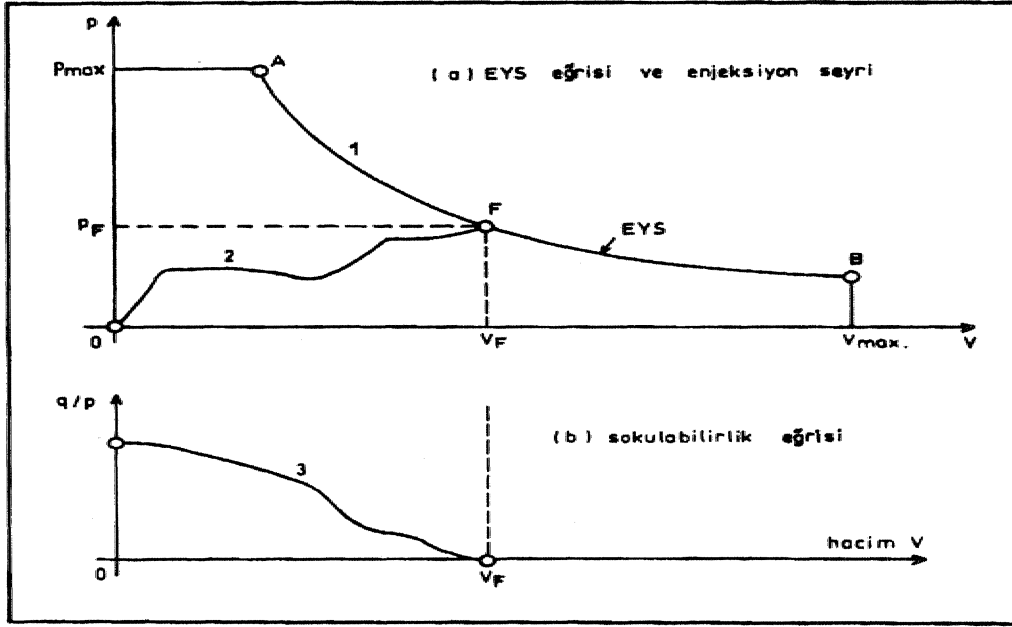
Ölçülen p ve q değerlerinden yararlanarak ekranda bir çok zaman grafiği (basınç., akış oran., toplam, miktar ve sokulabilirliğin zamana, karşı grafikleri gibi) çizdirilir. Şekil 3' bu tür grafiklerden örnekleri göstermektedir. Özgül akışın (q / p) veya sokulabilirliğin (akış oranının basınca bölümü) zaman karşı durumunu gösteren (d) grafiği incelendiğinde; egriden bariz olarak çatlakların enjeksiyonla, doluşu ve çatlaklardaki enjeksiyon direncinin artışı görülür. Bu direnç; enjeksiyon akışının tahrip edici kuvvetinin çatlak, boyunca daha da ilerlemesiyle oluşmaktadır. Grafikteki ani sıçrama ise; hidrolik kırılma veya hidrolik kaldırmaya karşılık, getir..

Pratik enjeksiyon.' kontrolü olarak EYS ve sokulabilirlik - hacim eğrileri

Şekil 4 bilgisayarın çizebileceği ana kontrol eğrilerini göstermektedir... Bu eğriler enjeksiyon, isteminin kontrolünde kullanılabilir. Şekil 4(a) sınırlama basıncı pmax., birim uzunluktaki sınırlama hacmi Vmax ve seçilmiş EYS hiperbolik eğrisi ile birlikte bir proje veya



Şekil 3. Tek kademenin enjeksiyon işlemi (a) basınç, (b) akış, (c) hacim, ve (d) sokulabilirliğin zamana karşı eğrileri O: başlangıç, H: hidrolik kaldırma, F: enjeksiyon bitişi.



Şekil 4., Tipik bir kademe enjeksiyonu 1: basınca karşılık akış sınırlama eğrisi,, 2: basınca karşılık alışı gösteren enjeksiyon seyri, 3. sokulabilirliğe (q/p) karşılık enjeksiyon alışı, F: enjeksiyon hışıf noktası., P_F : nihai basınç, V_F : nihai alış.

projenin bir bölümü, için seçilen sınırlama enjeksiyon zarfını göstermektedir. Bu zarf bilgisayarın hafızasına yerleştirilir ve istenildiği anda ekrana yansıtılır.. Bu sınırlama, zarf eğrilerine EYS eğrilerine denilir. Şekil 4 (aydaki 2 nolu düzensiz eğri enjeksiyon, işleminin sonucunu (enjeksiyonun seyrini.) göstermektedir. Şekildeki enjeksiyon seyri; birim uzunluktaki toplam enjeksiyon miktarına karşılık; o andaki enjeksiyon basıncı küçük zaman artımlarıyla çizilmiştir. Bu eğri, EYS eğrisi ile F noktasında kesişir. Enjeksiyon F noktasında sıfır akış oranı, p_F nihai basıncı ve V_F toplam enjekte edilen miktar' değerleri, ile durdurulur.

Şekil 4(b)'deki ise önemli bir işlem anı (real - time) gözleme eğrisidir. Burada sokulabilirliğe (q / p) karşılık, toplam miktar- (V) çizilmiştir. Benzer tipte eğriler olmasına karşın zamana karşı çizilen Şekil 3(d)'deki eğriye nazaran, daha çok tercih edilen eğri çeşididir.. Eğri incelendiğinde sokelabilMikteki azalışla birlikte enjeksiyonun etkisinin de azaldığı anlaşılmaktadır. Sabit bir basınçta akış oranı azalmakta veya sabit bir akış oranına ulaşıldığında (hemen hemen sonda) ise enjeksiyon, basıncı yükselmektedir. Hangisi uygulanırsa uygulansın bu kombinasyonlar pompa tipine ve enjeksiyon işleminin detaylarına (boru, valf) bağlıdır.

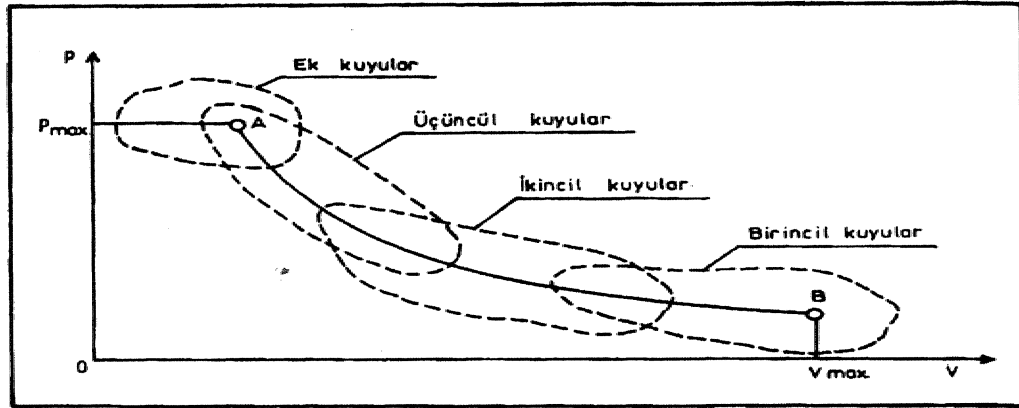
Sokulabilirlik - miktar eğrisindeki bir azalış enjeksiyon işleminin normal olarak ilerlediğini gösterir., Enjeksiyon basıncı sürekli olarak gözlenmeli ve EYS eğrisinin belirlediği sınırlarda durdurulmalıdır.

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi işlemin sonuç

eğrisi (enjeksiyonun, seyri) kaya çatlak açıklığının bir sonucu olarak EYS eğrisi ile farklı noktalarda, kesişirler.. Örneğin. Şekil 4(a)'da dar çatlaklar A noktası, geniş çatlaklar ise B noktası yakınlarında eğriyle kesişirler. Sonuç eğrisi EYS eğrisine doğru yaklaşırsa; enjeksiyon sokulumu devam etse bile (örneğin 500 l/h gibi) pompalama debisi olabildiğince düşük tutulmalıdır., Deneyimler' enjeksiyon işleminin sürekli ve etkin kontrolünde- bu tür çeşitli çizimlerin, büyük, yararları olduğunu göstermiştir.,

Yöntemin enjeksiyon perdelerine uygulanması " "

EYS yöntemi öncelikle yukarıda anlatıldığı gibi enjeksiyonun bir aşaması veya bir' kademesinde göz önünde bulundurulacak hususlarla uğraşır. Yöntem aynı zamanda bir koyunun bütün kademelerine ve araya girmeli birincil kuyulara uygulanır., Katı teorik gerekçelerle tek sıralı perdelerde araya, girmeye yönteminin etkili olduğu kanıtlanmıştır. Lav akıntılan, bazı kireçtaşı, ve kumtaşları gibi boşlukta veya yüksek geçirimli kaya ortamlarında 3 sıralı perde inşa edilmiştir. Burada öncelikle mansap, seSra memba ve daha sonrada orta sıra kuyuları enjekte edilmektedir. Dış sıralar bir bariyer olarak kabul edilirler ve genellikle bu sıraların birincil ve ikincil kuyuları büyük çatlaklar ve boşlukları kabaca, doldurmak için kullanılır.,' Daha sonra orta sıra ise tek sıralı perde işleme tutulurlar. Birinciden, üçüncül kuyulara ve hatta gerekirse dördüncül veya beşinci! kuyular da açılırlar,.,



Şekil 5. Enjeksiyon perdesinden bütün enjeksiyon aşamalarının nihai durumunu gösteren bir örnek.

Araya, girme yönteminde birincil kuyular eo geniş çatlakları kısmen veya tamamen doldurarak tıkarlar. ikincil kuyular ise birinciller tarafından doldurulamayanlar ile diğerlerini doldururlar. Şekil 5'te birincil, ikincil, üçüncül ve ek kuyuların (dördüncül veya kontrol) olası sonuç, pozisyonları EYS eğrisi üzerinde gösterilmiştir. Ortalama enjeksiyon basınçları seriden seriye geçerken, azalırken refü basınçları almaktadır,.. Böyle bir durumla EYS yöntemi uygulanırsa otomatik olarak karşılaşılmır.

Birincil kuyu aralığı 10 ile 12 m arasında olursa muhtemelen 2., ve 3. seri kuyulara da gereksinim duyulur. Üçüncül kuyular komşu kuyudan 2.5 - 3 m. uzaklıkta olur. Bu, kuyular jeolojik koşullar ve ikincil, kuyu sonuçlarına, göre dâna 'kısa açılabilir,

Dördüncül kuyular açılabilir veya açılmayabilif. En azından bir kısmı Logeon. testi, yapmak amacıyla açılmalıdır, Böylece enjekte edilen kayada kabul edilebilir bir geçirimsizliğin sağlanıp sağlanmadığı kontrol, edilmiş olunur* Geçirimsiz bir perde için yapılan su testlerinde, en katı kurallarda. %90'ı 1 veya daha az Lugeon değeri ile sonuçlanmalıdır. Ayrıca 3 Lugeon'dan daha yüksek, değer olmamalıdır.

ËYS ile kuyu. aralığı arasındaki ilişki

islenilen EYS değeri ile kuyu .aralığı arasında, bir ilişki, olduğu, açıktır. Örneğin birincil kuyuların aralığı çok fazla, EYS değeri çok az, ise- İkincil ve hatta üçüncül kuyularda bile enjeksiyon, alışında birincil kuyulara nazaran belirgin bk azalış olmayacaktır. Bu gibi durumlarda delgi ve: enjeksiyon harcamaları öngörüleni çok aşsa. bile perdede başarılı olunduğu söylenemez..,

Eğer kuyu aralığı az ve- EYS değeri, çok yüksek ise iki, seri. .kuyudan sonra bile alışlar çok azalacak ve- üçüncül kuyular- boşu boşuna açılacaktır. EYS değeri ile kuyu aralığı arasında oluşturulan perdenin kalınlığı nedeniyle ilişki vardır. Çünkü perdenin kalınlığını enjeksiyonun yayılım uzaklığı belirlemektedir.

Baş parmak kuralı kollarılarak EYS değeri, ve kuyu .aralığı seçilir. Böylece bir seriden, diğerine enjekte edilen kademenin her bir metresi için alış miktarı %50 oranında azalır (gerçekte %25 - %75 arasında)'. Böyle bir sonuç oluşturulan perdede gelişen bir kapanmanın olduğunu gösterebilir. İdeal birincil kuyu aralıklarım ve EYS değerini 'belirlemek için. inşaatın başlangıcında veya proje aşamasında bir veya. daha fazla test sahasında deneme enjeksiyonları yapılmalıdır.

Kapanış kriteri

Son serideki kuyunun enjeksiyon seyri EYS'nin üst sınırlama basıncına ulaşmamış ise bu kuyunun her iki yanına, ilave kuyular açılmalıdır. Böylece, perdenin bütün parçaları; sınırlama basıncında, göreceli, az enjeksiyon alışına, (örneğin 2,5 kg/m'den az, alış gibi)' karşılık gelen bir miktarla enjekte edilmiş olur. Uygun olmayan kuyu aralığı seçildiğinde,, en azından belli bir kesime kadar amaçlanan enjeksiyon yöntemi kendi, kendini düzenleyen bk işlem olur. Bu durum araya girme yönteminin (EYS' eğrisi) ve son seri kuyularda sınırlama basıncında, az enjeksiyon alış .gerekliğinin doğal bir sonucudur.

Sonuç olarak; yukarıda anlatılan kurallar takip edilirse toplam enjeksiyon miktarının çok az kısmı hariç enjeksiyon perdesi boyunca yayılması sağlanacaktır. İşlem kaya. kitesinin, jeolojik, şartlar nedeniyle oluşan süreksizliklerini otomatik, olarak dikkate almaktadır,, Böylebir uygulama ile enjeksiyon perdesinin yarar - bedel oranı en. üst düzeye çıkarılmış olunur.

EYS yönteminin ana hususları

EYS'nin enjeksiyon işlemine uygulanmasındaki kabul ve işlemleri oldukça basittir, Be hususlar aşağıda 4 ana başlık altında özetlenmiştir,,

1. Temel kabiller

a. Çökelmeyi azaltarak bloklamayı önlemek ve yo-

ğun, dirençli ve sertleşmiş enjeksiyon elde etmek amacıyla nispeten kalın, duraylı karışımlar kullanılır,

b. Özellikleri bilinen tek bir Bingham akışkanı sağlamak ve enjeksiyon işlemini basilleştirerek etkinliği arttırmak ve yanlışlıkların, önlemek amacıyla işlemin tamamında tek karışım kullanılır.

c. Gereken yerlerde yüksek basınç kullanmak ve yüksek basıncın zararlı olabileceği yerlerde ise azaltmak için. EYS eğrisi kullanılır ve by. eğri işlem sırasında gözlenir,...

d. Basınç ve akış oranını anında takip etmek,, seçilmiş EYS eğrisi üzerinde p-V enjeksiyon seyrini çizmek ve p-V enjeksiyon seyri ve sokulum - hacim eğrilerini kullanarak enjeksiyonun tamamlandığını belirtmek amacıyla enjeksiyon işlemi, arazi bilgisayarları aracılığı ile takip edilir.

2. Karışımın, Belirlenmesi

İ- a. Kohezyon ve viskozitesini azaltan akışkılaştırıcı kullanarak enjeksiyonun sokulumu artırılmalı ve b. sıkışma sırasında, so kaybım önleyici, so. tutucu katkı kullanarak arzulanan enjeksiyon özellikleri sağlanmalıdır,...

2- Ağırlıkça oranı 0.7:Tden 1r1'e değişen bir çok enjeksiyon, karışımı özerinde karşılaştırmalı bir seri test yapılmalıdır. Bu karışımlarda a, farklı incelikteki çimentolar' ve b. farklı yüzdelerdeki karışımlar kullanılmalı; yapılan testler ile- birim ağırlık, Marsh ho.ni.si görünür viskozitesi, 2 saat sonraki çökme, kohezyon* priz başlangıç: ve- bitiş süreleri, karışımın. 7 ve 28 günlük mukavemetleri ve sıkıştırma testi ile su kaybı miktarı, gibi özellikleri, belirlenmelidir.

3. KuyruPaterni

1- Birincil kuyulardan, -üçüncül veya dördüncül kuyulara kadar a. askari ünifoarmluğu her alanda sağlamak ve b. enjeksiyon sonuçlarının ve jeolojik koşulların belirlendiği, bölgelerde daha. yakın koyo aralığı sağlayabilmek için normal araya girme yöntemi uygulanmalıdır.

2- Kati proje veya inşaatın başlangıç aşamasında enjeksiyon, testleri yapılmalıdır, a. Bu test sahaları vadi tabanı ve yamaçlar gibi farklı topoğrafik ve jeolojik koşullar içermeli, b, testlerde; enjeksiyon alışında bir sonraki seride %25 veya %75 arasında azalmayı sağlayıcı birlocil kuyo aralıkları, tespit: edilmeli (10 - 12 m aralık gibi) ve e. her bir enjeksiyon aşamasının enjeksiyon seyrini; beklenen enjeksiyon yoğunluğuna veya birinci hatta ikinci hidrolik kırılmaya kadar olan p-V eğrilerini çizen farklı EYS eğrileri test edilmelidir.

4. Arazi Kontrolü

1- Test enjeksiyonu sonuçlarına göre EYS eğrilerinin kontrol unsunları özel mühendislik, kaya. mekaniği veya jeolojik kabuller gibi belirlenmelidir. Bu amaçla; a. mevcut jeolojik koşullara bağlı olarak basınç ve hacim sınırlarının gerçekçi, olduğundan emin olunmalı ve b. farklı arazi bölümlerinde kullanılacak farklı EYS değerleri belirtilmelidir.

2- Başlangıçla, test. bölgeleri hariç, her dört birincil kuyudan birisi, a. yeraltı jeolojik koşulları ve yeraltı su şartlarını belirleyebilmek için .gelecekteki rezervuar yüksekliğine eşil derinlikte-, karotlu ve Lugeon testli araştırma kuyusu olarak, b, diğer kuyuların nihai derinliklerini saptamak, için geriye- Akalan birincil kuyular gelecekteki rezervuar derinliğinin 0.5 x h-0.8 x h'i. derinliğinde acılmalıdır ve c, seçilen EYS eğrisinin uygunluğundan emin olunmalıdır.

3- EYS ve sokulabilme eğrileri kullanılarak arazide bilgisayarlar ile enjeksiyon işlemi kontrol edilmelidir. Böylelikle a. enjeksiyon seyrinin, gerçek - zaman, (real time,, anlık) gözleminden ve b. azalan sokulabilme eğrisi ve kontrol EYS eğrisine, p'ye karşılık V enjeksiyon seyrinin yaklaşmasından (EYS eğrisinin hacim ve basınç sınırlamalarını da dikkate alarak) kabul edilebilir bir sonuca ulaşıldığı düşüncesiyle enjeksiyonun tamamlandığına, kara* verilir.

4- Karışımın ilksel tıkanma, sırasında su kaybetmesini azaltmak amacıyla enjeksiyondan önce su tablasının üstündeki kademelerde su ile yıkama yapılmalıdır.

5- Enjeksiyondan önceki ve sonraki geçirimsizlik değerlerini kıyaslayabilmek amacıyla araştırma ve kontrol kuyularında Lugeon testleri yapılmalıdır.

6- Kaya çatlaklarının, gelişen kaparırlığı ve- kalıcı geçirimsizliğin kabul edilebilir oldukları istatistiksel ve grafiksel yöntemler kullanılarak gösterilmelidir...

örnek

Geçmiş on. yılda be yöntem. Arjantin, Avusturya, Ekvator, Meksika, isviçre- ve Türkiye'de uygulanmış ve yakın gelecekte de çeşitli ülkelerde- planlanan birçok projede- kullanılacaktır.

Meksika Aquamijpa barajında halen yürütülen enjeksiyon çalışmaları bu yöntemle bir örnek, olarak verilebilir. 180 m yükseklikte ve Comision Federal de Electricidad'a ait. olan beton yüzü kaya. dolgu tipinde dünyanın en yüksek barajı olacaktır. Su tutma işlemine 1993 yılında başlanacaktır.

EYS yöntemi beton yüzey temel eteğinin konsolidasyon ve derin perde enjeksiyonunda kullanılmaktadır.

.Yoğun labaratuvar ve arazi testlerinden sonra "normal" karışım adıyla tek bir karışım seçilmiştir, özellikleri;

Çimento :5 100 cm²/g özgül yüzeyli, ince puzzolan ..

S/Ç oranı: 0.9:1 (bazen yüksek. Blain değeriyle daha düşük)

Akışkaolastırıcı: Çimentonun ^ ağırlıkça % 1 .,6'sı oranında Sikament NZ-

Yoğunluk: 1,5 ile 1.55 g/cm³

Su bırakma: 2 h sonra. %4

Marsh Hunisi akış: 28 - 32 s

Bağlı kohezyonu (C/y) : 0.08 ile 0.2 mm, 2h sonra 0.2 ile 0.3

Mukavemet: 9-10 MPa 7 gün, 13-17 MPa 28 gün olan. karışım ilk bir saat içerisindeki yüksek sokulum özelliği ve mekanik ve yıkanmaya karşı yüksek dirençlilik özellikleri ile duraylı fakat çok akışkan bir karışımı temsil eder.

Perde enjeksiyonu için aşağıdaki kurallar' uygulanmıştır.

- Kademe boyu 5 m ve enjeksiyon aşağıdan yukarı doğrudur.

- Birincil kuyu aralığı 24 m'dir ve diğer serilerde araya girilmiştir.

- İlave yüksek seri numaralı kuyular alışı 2.5 Vm'yi aşınca açılmıştır.

- YAS üstündeki, koyularda ön yıkama. 2 bar- basınç altında ve 1h süre ile enjeksiyondan hemen önce yapılmıştır.

- Enjeksiyon yoğunluğu 2 500 bar x .1/F'dir. Beton yüzey eleğinde bu değer 1 500 bar' x. 1/m'ye düşürülmüştür.

- .En yüksek basınç: 40 bar'dır ve 20 m'den sonra, uygulanmıştır« Basınç satha yaklaştıkça 10 bar'a düşürülmüştür.

- En yüksek alışı sınırı 400 l/m 'dir. Be miktar 5 mlık kademede 2 000 l/m'ye karşılık gelir. Bazı bölümlerde sınır 300 Vm'ye düşürülmüştür.

- Re.fi .kriteri; refü başmandaki alışı 3 l/m'den az olacaktır.

Yukarıdaki kurallar özellikle tek karışım kullanıldığından arazide kolayca uygulanabilmiştir.

Bir örnek olarak Şekil 6'da beton yüzey eteğindeki koosolidasyoo enjeksiyonundaki enjeksiyon seyri, veril-

miştir. Okumalar, .arazi bilgisayarı yok ise 5 dakika aralıklar ile yapılmıştır. Şekil 6a'da p basıncı ve q akış oranı. V enjeksiyon, alışı hacmine karşılık çizilmiştir; Basınç eğrisi EYS sınırlama, sınırlan ile karşılaştırılmıştır..

Enjeksiyon hedefi 1 500 bar x 1/ta idi ve sınırlama basıncı 300 l/m'yi biraz aşınca 2, 510 bar x 1/ra'lık bir yoğunluğa ulaşıldı.., Bu sonuç enjeksiyon noktası ile pompa operatörü arasındaki iletişim gecikmesinden kaynaklanmıştır., Bu durum işlem anının sürekli gözlenmesi isteğini ve- bir PC aracılığı ile gösterilmesini; 'diğer' yandan kontrol EYS eğrisine ulaşıldığında pompanın otomatik olarak kapatılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Şekil 6b'de sokulabilirlik V alışı hacmine karşılık çizilmiştir,.. İşlemin başlangıcında kaya kütlesi süreksizliklerinin süregelen açılımı nedeniyle sokulabilirlik 0.2 den 0.5 l/dak x m x bar'a yükselmiştir. 200 l/m ilk bir alıştan sonra sokulabilirlik 320 l/m'den düzenli olarak, sifıra düşmüştür. Gerçekte enjeksiyon bu değere ulaşmadan tiemeo önce durdurulmuştur.

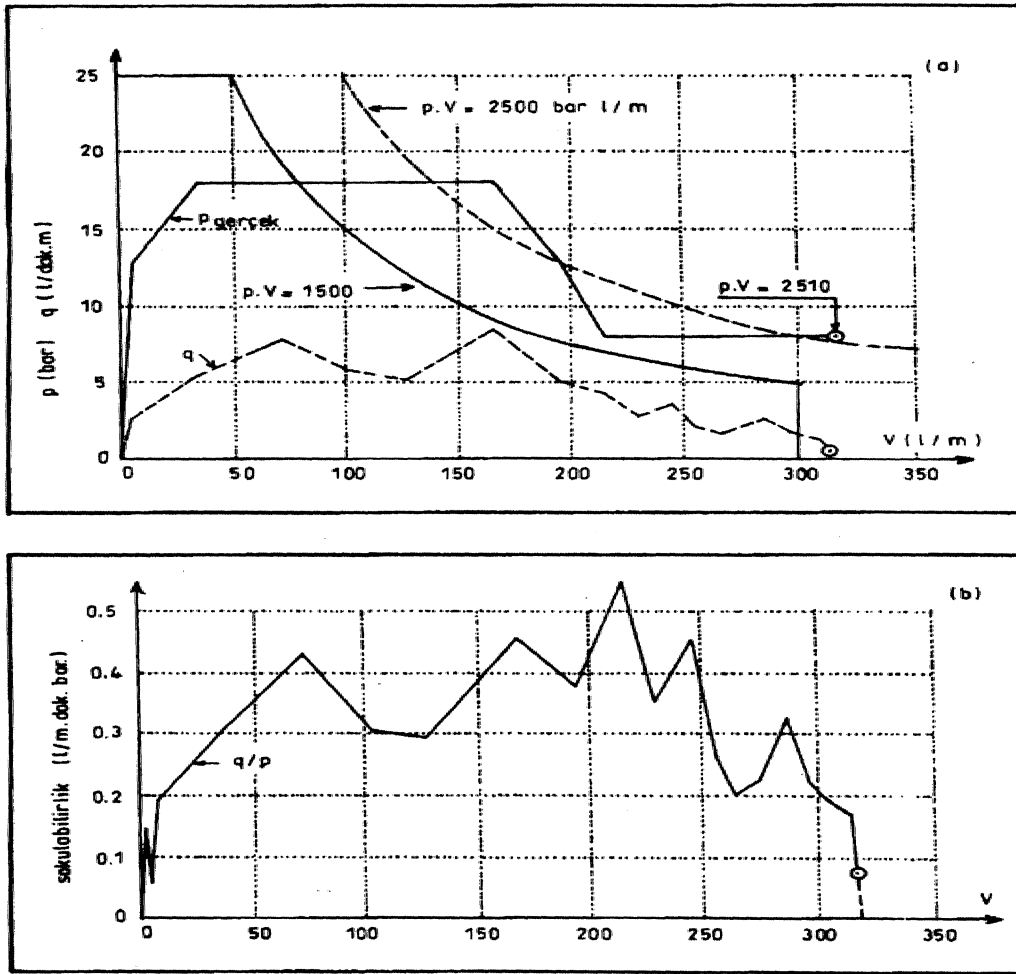
Sokulabilirlik eğrisi üzerindeki bazı düzensizliklerin operatörün bazı okumaları, yinelemesinden olduğu düşünülmüştür. Aynı zamanda bu düzensizlik, okumalar arasında fark edilemeyen iki veya. daha fazla hidrolik kırılma nedeniyle de oluşabilir.

Normal enjeksiyon işlemiyle karşılaştırma

Alışlagelen, işlem; enjeksiyon basıncı ve oldukça. az S/Ç oranlı farklı karışımların (4:1, 3:1, 2:1, 1:1 ve diğerleri) kullanılmasının belirlenmesinden oluşmaktadır. Karışım değişikliği kuyunun aldığı karışım miktarının-belirli bir hacme ulaşmasından sonra yapılır. Karışımın kohezyonu birinden, diğerine artacak ve bazı noktalarda akışa ve sokulabilirliğe karşı artan, kohezyon direnci enjeksiyonun durmasına neden olacaktır.

EYS yönteminde tek karışımı kullanıldığından kohezyon sabittir, Karışım, çatlaklar boyuca, yayıldığında karışımla çatlak duvarları, .arasındaki yüzey ve akışa karşılık toplam kohezyon direnci de artacaktır. Sonic olarak; akış direncini aşabilmek için daha yüksek pompalama basıncı kullanılacaktır. Bu dorum normaldir ve fiziksel olarak ta beklenen bir olgudur. EYS yöntemi; sınırlama basıncı, sınırlama miktarı veya belirlenen p-V eğrisi ile tanımlanan basınç - hacim kombinasyonları gibi üç sınırlama değerinden bir tanesine ulaşılan kadar göreceli olarak artan enjeksiyon basıncı altında enjeksiyonun sürdürülmesidir.

Alışlagelen, yöntem ile EYS arasındaki mevcut di-



Şekil 6. Āquamilpa barajı, Mexico.. Kuyu No : 674 P, kademe 17-22 m. (a) basınç p ve akış oranı q , hacim ve enjeksiyon sınırlama hattına karşılık (b) sokulabilirlik $\{q/p\}$ hacmine karşılık.

ğer farklılıklar ise sonlardır. EYS yöntemi daima; mukavemet, dayanıklılık, büzülme ve yıkanmaya karşı direnç özellikleri göz, önünde bulundurulduğunda yalnızca en iyi karışımı sürekli kullanır. EYS, ince karışımındaki yüksek miktardaki soyun kayaya enjekte edilmesinden sakınır. Hidrolik kınılına nedeniyle kayanın fazlaca, örselenmesi durayh karışımlar kullanılarak önlenir. İşlem sabit ve hızlı olup uygulama hataları en aza indirilmiştir. Karışım değişikliği nedeniyle oluşabilecek zaman kayıpları önlenir.

Özet ve sonuçlar

Enjeksiyon işlemi; karışımın düzenli olarak dışıkta - orta pompalama oranında pompalanmasını ve toya kütlesi içine sokulması sırasında, basıncın yavaş bir şekilde artırılması ile ilgilendir. Bir kademede refli basıncına ulaşılırken belirlenen miktarda karışım kayaya, basılmış ise veya saptanmış enjeksiyon yoğunluğunun önceden seçilen EYS eğrisi gözönünde bulundurulurken sınırlama basıncı ve miktarından daha az bir pozisyona ulaşılırsa enjeksiyon durdurulur.

Eğrinin orijinden uzaklığı tüketilen enerjinin bir fonksiyonudur. Çok azdan çok yükseğe değişen aralıktaki farklı enjeksiyon yoğunluklarına karşılık gelen bir grup eğri hazırlanabilir. Bir proje için bir adet. veya vadi tabanında yüksek yoğunluklu; yamaçlarda, sığ derinliklerde veya jeolojik, olarak zayıf zonlarda ise düşük yoğunluklu iki veya daha fazla eğri kullanılabilir.

Böylece komple sınırlama, zarfı; sınırlama basıncı (1.5 -50 bar), sınırlama miktarı (her kademe için 100 - 300 l/m) ve iki sınırlama hattına (500 - 2 500 bar x l/m gibi çok azdan yükseğe değişen seçilmiş EYS değerli) bağlı, olarak seçilmiş EYS eğrisinden oluşur.

EYS yöntemi enjeksiyonun; basınç - zaman, akış oranı - zaman, toplam akış-zaman, dönüştürülmüş sokulabilirlik (q/p) -zaman gibi PC ile oluşturulan grafikler yardımıyla yakın gözlemine gerektiril*. Bahsedilen son. eğri refüye yaklaşıldığında veya en azından alışı azaldığında özel öneme haizdir. EYS yöntemi enjeksiyon projelendirmesi ve kontrolünde yararlı bir araç olduğunu kanıtlamışta*. Hidrolik yapılarda enjeksiyonun

kullanılmasının artışı bu yöntemin gelişmesini sağlayacaktır. Yöntem basınç ve miktar sınırlaması ile ulaşılabilecek EYS değerleri hususlarında katı kurallar içermemektedir. Büyük bir olasılıkla, mevcut ve gelecekteki projelerde kullanılmasıyla daha da gelişecektir.

DEĞİNİLEN BELCELER

- Houlsby, A.C., 1992, "Construction and design of cement grouting", John Wiley and Sons Inc, New York / Chichester.
- Weaver, K., 1988, "Dam foundation, grouting", American Society of Civil Engineering, New York, USA.
- Nonweüler, E., 1988, "Grouting theory and practice", Elsevier New York, USA.
- Ewert, F.K., 1985, "Rock grouting with emphasis on dam sites", Springer - Verlag, Berlin, Germany.
- Deere, B. and Lombardi, G., 1985, "Grout slurries - Thick, or thin?", Issues, in Dam Grouting, Proceedings of the session sponsored, by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE, Convention in Denver, Colorado; April.
- Lombardi, G., 1985, "The role of the cohesion in cement grouting of rock", Q58 R13, 15th ICOLD Congress, Lausanne, Switzerland.

- Lombardi, G., 1987, "Incection des massifs rocheux". Société, Suisse de Mecanique des Sols et des Roches., Journée de printemps. No. 115; May.
- Lombardi, G., "La roca y el macim rocoso-Leyes constitutivas", Academia Nacional da Ciencias Exactas, Fisicas y Natiirales, Buenos Aires, Argentina, Sesiones Cientificas, "Ing. Francisco Garcia Olano", La Mecanica de Rocas en la Ingenieria Civil; 12 December 1987, May 1989 edition.
- Lombardi, G., 1990, "La perméabilité et l'incetabile des massifs rocheux fissures", Reven Française Geotecthique, No. 51 April.
- Lombardi, G., 1991, "Stoffgesetze für Feldfndationen von Betonsperren", 39 Geomedhanik-Kolloquium, Salzburg, Austria, October 1990, Oesterreichische Gesellschaft für Geomechanik Felsbau., Jahrgang 9, Mo. 2,
- Lombardi, G., 1992, "The FES rock mass model-Part: I", Dam Engineering, Vol. III, Issue 1; February 1992; and, "The FES rock mass model-Part 2", Dam Engineering, Vol. III, Issue 3; August 1992,
- Lombardi, G., 1991, "Kölnbrein dam: An unusual solution for an unusual problem". Water Power and Dam Construction; June 1991.
- Oesteneichische Draukraftwerke A.G, Klagenfurt: Carithia / Austria, "Remedial project for Kölnbrein arch dam" Design and Construction; June 1991.