

Yüksek Modüllü Kolonların (Jetgrouting)

Tablolama Programı Kullanarak Tasarımı

Devrim Alkaya, Burak Yeşil

Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik ABD, Denizli
burakyesil06@hotmail.com - devrimalkaya@hotmail.com

Özet: Statik koşullar zemin şartlarına bağlı olarak taşıma gücü ve oturma problemi oluşturabilir. Deprem esnasından zeminde taşıma gücü aşılması, oturma problemleri ve sıvılaşma ile karşılaşmaktadır. Zeminlerin iyileştirilmesinde taşıma gücü ve oturma açısından bir sorun olmasa bile deprem bölgelerinde özellikle sıvılaşmaya karşı iyileştirme gerekli olabilmektedir. Ülkemizde en çok kullanılan zemin iyileştirme yöntemi jet grouting ile iyileştirme değildir. Jet grouting ile projelendirme yapılmasını kolaylaştırmak için Excel ile bilgisayar programı hazırlanmıştır. Excel programının kullanımı proje yapılmasını ve hazırlanan projelerin kontrolünü kolaylaştırması amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Jetgrouting, Yüksek Modüllü Kolon, Tablolama, Zemin iyileştirme

Design of High Modulus Columns (Jetgrouting) with Spreadsheet Program

Abstract: Static loads create exceeding of the bearing capacity and settlement problems. Exceeding of the bearing capacity of soil, settlement problems and liquefaction is experienced during an earthquake. In the improvement of soils, especially an improvement against liquefaction might be required in earthquake zones though there is no problem about settlement. In our country, jet grouting is the mostly applied soil improvement method. For facilitating the designing process of jet grouting a computer software is developed by using Excel. It was intended to facilitate the project design and the control of the prepared projects by using Excel software.

Keywords: Jetgrouting, High-modulus columns, Excel Spreadsheet, Soil improvement

1. Giriş

Statik ve dinamik yükler altında zeminde taşıma gücünün aşılması, oturma problemleri ve sıvılaşma ile karşılaşmaktadır. Zeminlerin iyileştirilmesinde taşıma gücü ve oturma açısından bir sorun olmasa bile deprem bölgelerinde özellikle sıvılaşmaya karşı iyileştirme gerekli olabilmektedir.

Ülkemizde en çok kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden birisi jet grouting ile iyileştirme değildir. Jet grouting yöntemi ile zemin iyileştirilmesinin projelendirilmesinde statik yüklere karşı zemin emniyet gerilmesi hesapları ve deprem yüklerine karşı sıvılaşma kontrolü hesap

yöntemi açıklanmıştır. Hesapların yapılmasını kolaylaştırmak ve hatasız tasarım için tablolama yöntemi ile bilgisayar programı hazırlanmıştır. Genellikle uygulamacılar tarafından hazırlanan hazırlanan jetgrouting projelerinin, yapı denetim şirketlerince yapılan denetim ve kontrolünün kolaylaşması da amaçlanmıştır. Piyasadaki projeler incelendiğinde jet groutin hesaplarında düşey yüklere karşı projelendirme yapılırken deprem yüklerine karşı kontrol yapılmamaktadır. Bu durumda eksik hesaplar yapılmakta ve bazen gereğinden emniyetli/emniyetsiz projeler oluşturulmaktadır. Hazırlanan program ile sıvılaşmaya karşı kullanımda projelendirme ve kontrol kolaylaştırılmıştır.

2. Jet Grouting Yöntemi

Yüksek hızla zemine basılan karışımla zemin iyileştirme düşüncesi ve bu konudaki çalışmalar ilk olarak 1965’ te Yamakado kardeşler tarafından Japonya’da uygulanmaya başlanmış olup 1970’li yılların başlarında iki farklı jetgrouting tekniği geliştirilmiştir.

Nakanishi ve şirketi (N.T.I) [1] tarafından geliştirilen jetgrouting tekniğinde, kimyasal ve çimento karışımları kullanılmış olup bir delgi tijinin en altında bulunan 1.2-2.0 mm çaplı enjeksiyon uçlarından çok yüksek basınçla enjekte edilmektedirler. Karışımın enjeksiyonu sırasında, tijin kendi etrafında döndürülmesi ve yukarı çekilmesi ile kazık gibi zemin – çimento kolonları oluşturulmaktadır. Bu sebeple , bu tip jetgrouting tekniği “CCP jetgrouting” (chemical churning pile) olarak adlandırılmaktadır.

Jetgrouting tekniklerinden bir diğeri ise 1970 yılında Japonya’ da diyafram duvar teşkil etmek amacı ile geliştirilmiş ve “jetgrouting” olarak adlandırılmıştır. Bu yöntemin en belirgin özelliği zemini kesme, koparma ve sıkıştırma işlemleri için üç farklı akışkanın (su, hava, çimento şerbeti) kullanıldığı üçlü jet sisteminin uygulanmasıdır.

Jetgrouting yönteminin diğeri bir uygulama teknikleri yine Japonya’da 1970’li yılların ortalarında kullanılmıştır. Nakanishi ve arkadaşları tarafından CCP jetgrouting sistemi, çimento karışımı ve havanın birlikte kullanılmasıyla geliştirilmiş ve “jumbo jet special grout (JSG)” olarak adlandırılmıştır. Sadece sıkıştırılmış hava kullanılarak teşkil edilen JSG kolonları aynı çalışma parametreleri kullanılarak teşkil edilen CCP kolonlarından 1.5-2 kat daha büyüktür.

Bundan sonra, Yahiro ve arkadaşları jetgrout kolonlar teşkil etmişlerdir. Hava jetiyle sarılmış bir su jeti sistemine eklenmiştir. Örselenmiş zemin, hava jetiyle kopar ve oluşan boşluklar enjeksiyonla doldurulup karıştırılır.

Son yıllarda jetgrouting teknolojisi önemli ölçüde geliştirilmiştir. Çok yüksek basınçlı pompalar üretilmiş ve bunun sonucu yüksek enjeksiyon basıncına ve akış hızına ulaşılmıştır. Su-çimento karışım tesisleri modernleştirilmiştir. Bu gelişmeler sayesinde uygun olmayan bölge ve hava koşulları sorununun üstesinden gelinmiş, makinaların güvenlik koşulları önemli ölçüde geliştirilmiş olup işlem için gereken iş gücü, hazırlık çalışmaları ve diğeri işler için gereken süre azalmıştır.

2.1. Jet Grouting Yöntemi İle İyileştirme ve Sıvılaşmaya Karşı Jet-grouting Kolon Aralıklarının Tespiti

Çalışmada Seed ve Idriss(1971) [2] yılında verilen maksimum kayma gerilmesinin hesaplanması ile ilgili geliştirilen, Özsoy ve Durgunoğlu (2003) de ayrıntılı açıklanan yöntem kullanılmıştır.

2.2. Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Faktörü

‘Basitleştirilmiş Yöntem’ olarak tanımlanan metod Seed ve Idriss (1971) tarafından ortaya çıkarılan yöntem zaman içerisinde geliştirilerek bugünkü halini almıştır. Sıvılaşma konusunda teknik toplantılar düzenlenmiş ve kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları;

- Seed (1979), ASCE [3]
- Seed & Idriss (1982), EERI [4]
- NRC (1985) [5]
- Youd & Idriss (1997), NCEER [6]
- Youd ve diğ.,(2001) ASCE [7]
- Idriss & Boulanger, (2004),ASCE [8]

Seed ve Idriss (1971-2001)’e göre sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü, FS,

$$FS = \frac{CRR}{CSR} MSF \quad (1)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Burada;

- CRR (Cyclic Resistance Ratio):
Devrinsel Direnc Oranı,
- CSR (Cyclic Stress Ratio):
Devrinsel Gerilme Oranı

Diğer bir deyişle, CRR zeminin sıvılaşmaya karşı dayanım kapasitesini, CSR ise depremde zemine uygulanan sismik etkiyi göstermektedir.

2.3. Devrinsel Gerilme Oranı-CSR Hesabı

Bu metoda göre CSR;

$$CSR = 0.65 \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d \quad (2)$$

ile verilmektedir.

Burada;

a_{\max} : Zeminde oluşan yatay ivmenin maksimum değerini

σ_{vo} ve σ'_{vo} : Toplam ve efektif düşey gerilmeleri
 r_d : Derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısını göstermektedir. Bu katsayı, derinliğe bağlı olarak;

$$r_d = 1.0 - 0.00765z; \quad z < 9.15 \text{ m} \quad (3)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z; \quad z = 9.15 \text{ to } 23 \text{ m} \quad (4)$$

r_d değerinin depremin büyüklüğüne de bağlıdır (Idriss ve Boulanger (2004))

2.4. SPT Deneyi ile CRR Tespiti

SPT deneylerinden yararlanmak suretiyle CRR (%)- $(N_1)_{60}$ abağı verilmiştir. Bu abak temiz kumlar için ($FC \leq \%5$) geçerlidir.

Burada;

$(N_1)_{60}$: Jeolojik gerilmeye göre normalize edilmiştir.

ER: %60'a denk gelen darbe sayısını (SPT deneyindeki enerji oranını göstermektedir.)

FC: İnce dane yüzdesini

Normalize edilmiş darbe sayısı;

$$(N_1)_{60} = NC_N C_E C_B C_R C_S \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.

Burada;

N: arazide ölçülen SPT darbe sayısını,

C_N : düşey jeolojik yük düzeltme faktörünü,

C_E : enerji oranı düzeltme faktörünü,

C_B - C_R - C_S : SPT deneyinin yapılışına bağlı değer düzeltme faktörünü,

göstermektedir.

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_{vo}} \right)^{0.5}, \quad C_N < 1.7 \quad (6)$$

bağıntısı ile verilmektedir.

P_a : 100kPa olarak referans gerilmedir.

$$CRR = \frac{1}{34 - N_{L60}} + \frac{N_{L60}}{135} + \frac{50}{(10^*N_{L60} + 45)^2} + \frac{1}{200} \quad (7)$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (8)$$

MSF: Katsayı (Depremin bütüklüğünün 7.5'ten farklı olması durumu)

2.5. Jetgrout Yapımı

Jet grouting yönteminin avantajları;

1- Klasik enjeksiyon yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomiktir.

2- Monitör ve püskürtme ağızlarının tasarımındaki esneklik sayesinde farklı geometride elemanlar imal edilebilir. Yatay, eğimli ve düşey duvarlar rahatlıkla yapılabilir.

3- Klasik enjeksiyona göre kontrolü daha kolaydır.

4- Kimyasal açıdan zemine hiçbir zararı ve kir-

letici etkisi yoktur.

5- Kullanılan ekipmanın boyutları sayesinde kapalı, dar ve sıkışık ortamlarda dahi çalışılabilmektedir.

6- Bütün zemin cinslerinde kullanılabilir.

7- İmalata istenilen derinlikten başlanabilir ve istenilen derinlikte son verilebilir.

8- Vibrasyonsuz bir yöntem olduğundan çevre yapılarında hasara neden olma riski yoktur.

Jet Grouting yönteminin dezavantajları;

1- Yöntem henüz gelişme aşamasında olduğunda tasarım ile ilgili yeni bilgilere ve tecrübeler ihtiyacı duyulmaktadır.

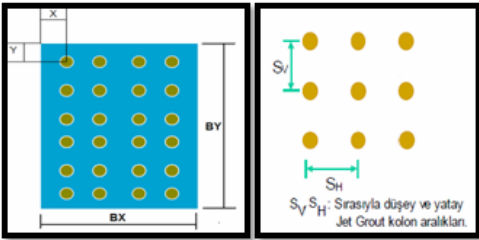
2- Teknolojisinin yeni oluşu ve teorik bilgi eksikliği nedeniyle mühendislik tasarımında yararlanılacak standartlar henüz kesinleşmemiştir. Bu nedenle, benzer koşullarda yapılmış olan tecrübeler ile uygulama sırasında yapılan gözlemlere dayalı tasarım yapılmaktadır.

3- Zemin içinde enjeksiyonun dağılımını ve oluşan geometriyi belirlemek zordur. Bu nedenle, dikkatli ve detaylı gözlem ve kontrol testlerinin yapılma zorunluluğu bulunmaktadır.

Jetgrout kolonları arasındaki ara mesafelerin iki yönde S_H ve S_V olması halinde (Şekil 1);

$$A = S_H S_V \quad (9)$$

olarak hesaplanır. Şekil 2-Şekil 3-Şekil 4 'de yapım şekilleri ne uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 1. Jetgrout kolon aralıkları ve mesafeleri

Deplasman şartından zeminin taşıdığı kayma gerilmesinin τ_s , oluşan toplam kayma gerilmesine, τ olan oranı, S_R ;

$$S_R = \left(\frac{\tau_s}{\tau} \right) = \left(\frac{1}{G_r} \right) \left[\frac{1}{a_r + \frac{1}{G_r} (1 - a_r)} \right] \quad (10)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda, G_r : Modul oranı olarak tarif edilmekte olup;

$$G_r = \frac{G_{jg}}{G_s} \quad (11)$$

olarak tanımlanmaktadır.

$$\sigma_{ult} = \frac{P_{ult} + A_{jg} + \sigma_{em} (A_1 - A_{jg})}{A_i} \quad (12)$$

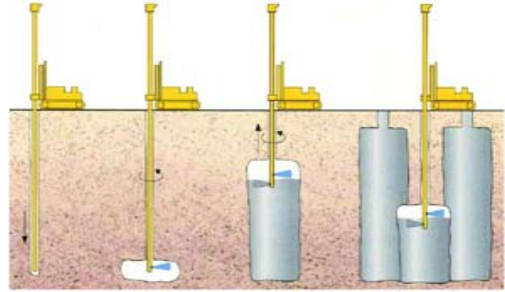
P_{ult} (t/m^2): jetgrout kolonun taşıma gücü

A_{jg} : Jetgrout kolonun alanı

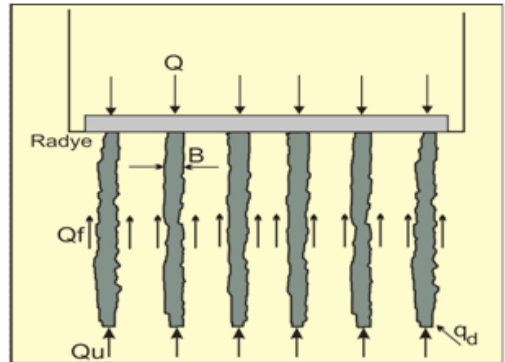
σ_{em} (t/m^2): iyileştirme öncesi Zemin emn. Gerilmesi

A_1 (m^2): ($Sh \cdot Sv$): Her Bir Jet Grout Kolon. Düşen Alan Miktarı

σ_{ult} (t/m^2): İyileş. Sonrası Zemin Emn. Gerilmesi



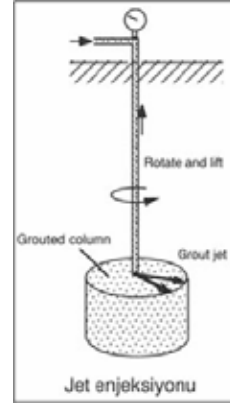
Şekil 2. Jet grout yapım şekli



Şekil 3. Jet Grouting ile iyileştirilmiş zeminde teşkil edilmiş bir radye temel



Şekil 4. Jet Grouting uygulama



Şekil 5. Jet enjeksiyonu

3. Jet Grouting Spreadsheet Hesap Programı

Jet grouting ile iyileştirme planlandığında projelerin hazırlanması büyük sorun olarak uygulamacıların karşısına çıkmaktadır. Hesap yapılmasında karşılaşılan güçlükler inşaat mühendislerinin uygulamayı yapan şirketlerce hazırlanan projeleri kabul noktasına götürmekte ve inşaat mühendisliğinin en önemli kuralı olan proje-uygulama-kontrol üçlemesi devre dışı kalmaktadır. Bu sorunu giderebilmek için inşaat mühendisleri tarafından kolaylıkla kullanılabilir jetgrouting ile iyileştirme Excel spreadsheet programı yazılmıştır. Programda statik yükler karşısında gereken jet grouting kolon sayısı belirlenmekte ve sıvılaşma riski karşısında seçilen jetgrouting kolon sayısının yeterliliği kontrol edilmektedir.

Projelerde genellikle statik yüklere karşı projeler hazırlanma, sıvılaşma riski için hesaplar yeterince yapılmadan uygulamaya geçilebilmektedir. Sıvılaşma açısından yapılan projenin kontrolü uygulamada hatalı tasarımların önüne geçebilecektir.

Şekil 7'de Programa girilen veriler sonucunda jetgrout kolonu ile ilgili; kolon alanı, yapının kenardan mesafeleri vb değerler hesaplanmakla birlikte, sıvılaşma için; elastise modülü, kayma dalgası hızı, kolonun taşıyabileceği en fazla gerilmesi vb değerler hesaplanmaktadır. Eğer program tarafında tasarımın uygun olduğu mesajı alınırsa, jetgrout kolonu sayısı, yerleşimi, taşıyabileceği en fazla yük elde edilmiş olacaktır.

Metodoloji	Prefabrik Dren	Vibro Filizasyon Vibro Kompaksiyon	Kompaksiyon Kazıkları (Compaction Piles)	Taş Kolon (5)	Dinamik Kompaksiyon (4)	Deep Mixing	Jet Grout
Aşırı Boşluk Suyu Basıncı Oluşumuna Mani Olunması	✓	-	-	-	-	-	-
Zeminin Yerde Sıkıştırılması - İzaflı Sıklığının Arttırılması	-	✓ (2)	✓	✓(3)	✓	-	-
Zemin İçinde Rijit Kolon Oluşturulması Suretiyle Kayma Gerilmelerinin Alınması	-	-	✓	-(1)	-	✓	✓
Zeminin Yanal Hareketine Mani Olmak Üzere Zemin İçinde Zemini Hapsedecek Elemanların Teşkil	-	-	-	-	-	✓	✓
Üstüyaşının Daha Rijit Ve Farklı Oturma Ve Yatay Deplasmanlardan Daha Az Etkilenecek Tarzda Teşkilî Veya Takviye Edilmesi							

Tablo 1. Sıvılaşmaya karşı temel mühendisliği uygulamaları

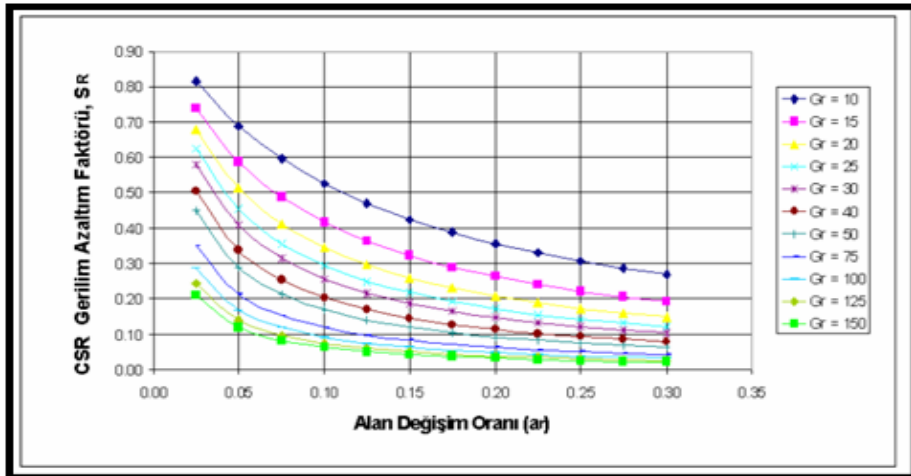
- (1) İhmal edilebilir
- (2) Yalnız kumlarda $FC < \%5$
- (3) İnce daneli zeminlerde $\%5 < FC < 35\%$
- (4) Enerjinin daha derine iletilmesi için taş keson / Stone pillar uygulaması [11]
- (5) Ucu kapalı tapa ile boru çakılarak veya vibro_replacement metodu ile

Tablo 1’de Sıvılaşmaya karşı temel mühendisliği uygulamaları gösterilmektedir. Jet grout kolonunun zeminde hangi kötü özelliğini iyileştirdiği görülmektedir. Tablo 2’de [9] ise jet grout kolon sistemine göre (Şekil 5) enjeksiyon tipi, çekme hızı, pompa kalitesi vb değerleri bulunmaktadır. Tasarımlandırmayı yaparken bu

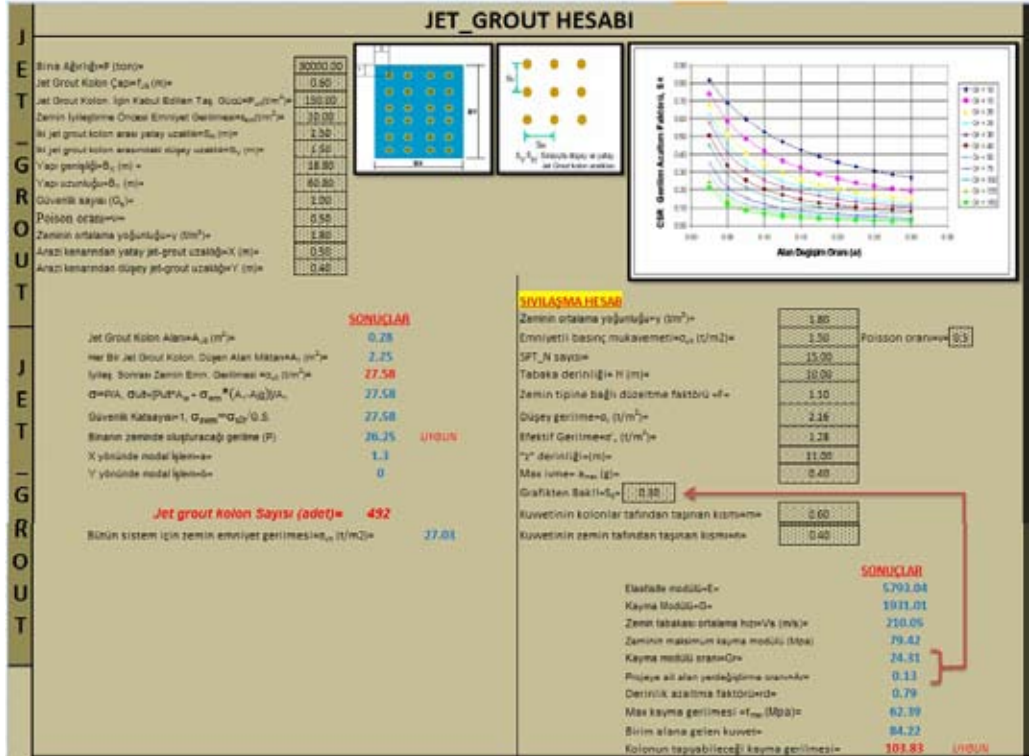
hususların da dikkate alınması gerekmektedir. Kullanacağımız sistemin seçimi önem kazanmaktadır. Şekil 6’da [10] alan değişim oranı ve gerilim azaltım faktörü yer almaktadır. Burada Hesaplanan alan değişim oranıyla tablodan G_r okuması yapılabilmektedir.

Sistem	Enjeksiyon Tipi	Basınç (bar)	Nozul Adedi ve Çapı (adet, mm)	Çekme Hızı (cm/dak)	Dönme Hızı (rpm)	Su / Çimento Oranı	Pompa Kapasitesi (lt/dak)
JET 1	Çimento	400 - 550	1-2 x 2-5	15 -100	5 - 15	1.0 - 1.5	70 - 600
JET 2	Çimento	400 - 550	1-2 x 2-5	10 - 30	4 - 8	1.0 - 1.5	70 - 600
	Hava	10 - 12	-	10 - 30	-	-	4000 - 10 000
JET 3	Çimento	50 - 100	1-2 x 4-5	6 - 15	4 - 8	1.2 - 1.5	80 - 200
	Hava	10 -12	-	6 - 15	-	-	4000 - 10 000
	Su			6 - 15	-	-	40 - 100

Tablo 2. Jeot grout üretim parametreleri (Lunardi 1977)



Şekil 6. Alan Değişim Oranı ile Gerilim Azaltım Faktörü Değişimi (Özsoy ve Durgunoğlu., 2003)



Şekil 7. Veri giriş sayfası ve hesabı

4. Sonuçlar

Jet grouting yöntemi statik yükler ve depreme karşı güvenle kullanılabilen yöntemlerden birisidir. Jet grouting ile zemin iyileştirme projesinin tasarım esasları, çözüm yöntemi verilmiş ve hesap adımları açıklanmıştır.

Hesap adımlarının verilmesinin nedeni projelerin kolayca uygulayabilecekleri yöntemi açıklamaktır. Örnek zemin iyileştirme projesi hazırlanan program ile yeniden çözülmüş ve kontrolleri yapılmıştır. Hazırlanan program ile

Jet grouting hesaplarının yapılması ve kontrolü kolaylaştırılmış proje hatalarının önüne geçilebilmesi amaçlanmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] Nakanishi W., Nakazawa J., "The Process of Development on Jet Grouting Methods and Their Future" VOL.54;NO.7;PAGE.10-12,1(3) (2006)
- [2] Seed, H. B., Idriss, I. M., "Simplified Procedure for Evaluating the Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.97(SM9), pp.1249-1273, (1971).
- [3] Seed, H. B., "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.105(GT2), pp.201-255, (1979)

- [4] Seed, H. B., Idriss, I. M., “Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, (1982)
- [5] National Research Council (NRC), “Liquefaction of Soils During Earthquakes, National Academy Press, Washington D.C., (1985)
- [6] Youd, L., T., and Idriss, I.M., eds Proc. “NCEER Workshop on Evaluation Liquefaction Resistance of Soils”, NCEER, Buffalo, Newyork, (1997)
- [7] Youd, L. T. v.d. (21 farklı yazar) “Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998, (2001)
- [8] Idriss, I. M., Boulanger, R. W., “Semi-Empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes” Proceedings 11th ICSD and 3th ICEGE, 7-9 January 2004, UC Berkeley, California, U.S.A., (2004)
- [9] Lunardi, P., “Ground Improvement by Means of Jet-Grouting”, Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, Vol 1 No:2, pp. 65-86, (1977)
- [10] Özsoy, B., Durgunluoğlu, H.T., “5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı”, 26-30 Mayıs, İstanbul Bildiri No:AT-004,(2003)
- [11] Emrem, C., Spaulding, C., Durgunoğlu, H. T., and Varaksin, S., “A Case Study of Soil Improvement Against Liquefaction-Carrefoursa Shopping Center İzmir, Turkey,” Proceedings of the 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, İstanbul, pp. 1737-1742, (2001)