



Jet Grout Yönteminin Zemin İyileştirmesine Katkısının ve Bu Yöntemde Kullanılan Parametrelerin Etkilerinin İrdelenmesi

Recep AKAN*¹, Sıddıka Nilay KESKİN

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

(Alınış Tarihi: 20.12.2013, Kabul Tarihi: 01.09.2014)

Anahtar Kelimeler

Jet grout
Bulanık mantık
Çoklu regresyon analizi
Zemin iyileştirmesi.

Özet: Bu çalışmada, bir zemin iyileştirme yöntemi olan jet grout uygulaması ile oluşturulan kolonların serbest basınç dayanımlarının, bu yöntemde kullanılan parametreler ve iyileştirme öncesi zemin durumuyla olan ilişkisi araştırılmıştır. Bulanık mantık ve çoklu regresyon analizi yöntemleri kullanılarak jet grout kolonların serbest basıncının tespitinde bu analizlerin başarısı incelenmiş ve her iki yöntemde de belirlilik (determinasyon) katsayısı yaklaşık 0,91 hesaplanmıştır. Sonuçlar, tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Analizlerde girdi parametresi olarak; enjeksiyon basıncı, zemin standart penetrasyon sayısı, çekme hızı, nozul çapı ve ince dane oranı kullanılmıştır. Çıktı olarak ise jet grout kolonun serbest basınç dayanımları elde edilmiş ve gerçekte ölçülen basınç dayanım değerleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çoklu regresyon analizinde kullanılan parametreler arasında, çekme hızının en etkili ve standart penetrasyon sayısının en az etkili parametre olduğu belirlenmiştir. Jet grout kolon serbest basınç dayanımının; standart penetrasyon sayısı ve nozul çapının artması ile arttığı, çekme hızı ve ince dane oranının artmasıyla azaldığı görülmüştür.

Investigation of the Contribution of Jet Grouting to Soil Improvement and the Effects of the Parameters Used in This Method

Keywords

Jet grouting
Fuzzy logic
Multiple regression analysis
Soil improvement

Abstract: In this study, the relation between unconfined compressive strengths of jet grout columns which is generated with jet grouting method, parameters which are used in this method and soil properties before improvement were examined. Success of analyses were examined in determining unconfined compressive strengths of jet grout columns using fuzzy logic and multiple regression analysis methods and determination coefficient was calculated about 0.91 in both methods. Results are presented by tables and graphs. As entry parameter in analyses; injection pressure, standard penetration number, lifting speed, nozzle diameter and fine grain ratio were used. Jet grout column's unconfined compressive strengths were obtained as output and they were compared with actual measured values. Among the parameters which are used in multiple regression analysis, the most efficient parameter is lifting speed, the least efficient parameter is standard penetration number were determined. It has been observed that jet grout column's unconfined compressive strengths increase with increasing standard penetration number and nozzle diameter, and decrease with increasing fine grain ratio and lifting speed examined.

1. Giriş

Yeni bir yapının inşası veya mevcut bir yapının güçlendirilmesinde problemleri bir zeminle karşı karşıya kalındığında öncelikle yapının üstünde yer aldığı temel zeminin kuvvetlendirilmesi ve ıslahı gerekir. Proje öncesi yapılan zemin etütleri, yapının kendine ait ve diğer ekstra yüklerin taşınmasını

mümkün kılmıyorsa, yapının taşınması ya derin temellerle ya da fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş bir zeminle, bazı durumlarda ise her ikisi ile birlikte sağlanabilmektedir.

Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi için, teknoloji ilerledikçe yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri olan jet grouting, güncel bir

* İlgili yazar: recepakan@sdu.edu.tr

yöntemdir. Bu yöntem diğer zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla daha ekonomik olması ve inşaat süresinin daha kısa olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Bu yöntemde amaç, zeminin mekanik mukavemet değerlerini arttırmaktır. Dolayısıyla zeminin taşıma kapasitesi ve elastisite modülü artar, geçirgenliği azalır. Jet grouting yöntemi ile kil veya kum-çakıl gibi değişik karakterdeki çok geniş ve farklı türdeki zeminlerin ıslahı mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, jet grout yöntemi ile elde edilen kolonların serbest basınç dayanımlarının bazı jet grout yapım parametreleri ve zemin parametreleri ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bunun için bulanık mantık ve çoklu regresyon analizi yöntemleriyle bilinen girdi parametreleri ile oluşacak kolonun serbest basınç dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Analizler sonucunda parametreler ve serbest basınç dayanımı arasında anlamlı ilişkiler olduğu, bu analizler ile tahminin mümkün olabileceği görülmüştür.

Ayrıca yöntemde kullanılan parametreler ve zemin özelliklerinin, oluşacak kolonun serbest basınç mukavemetine etkileri araştırılmıştır. Analiz sonuçları ile gerçekte ölçülen serbest basınç dayanımı değerleri arasında çeşitli hata hesaplamaları yapılmış ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

2. Materyal Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, beş girdi ve bir çıktı olmak üzere toplam altı parametre kullanılmıştır. Girdi parametreleri; enjeksiyon basıncı, çekme hızı, nozul çapı, zeminin standart penetrasyon sayısı ve zeminin ince dane oranıdır. Çıktı ise oluşan jet grout kolonunun serbest basınç dayanımıdır. Bakım (2007)' den ve ZETAŞ A.Ş.' nin sahada gerçekleştirmiş olduğu çalışmalara ait verilerden istifade edilerek elde edilen veriler bulanık mantık ve çoklu regresyon analizi kullanılarak incelenmiş ve girdi parametrelerinin çıktıya olan etkileri incelenmiştir.

2.2. Yöntem

Jet grout kolonu imal edilirken kullanılan jet grout parametreleri ve iyileştirme öncesi zemin durumunun bilinmesiyle bu kolonun serbest basınç dayanımının tahmini için ilk olarak "Bulanık Mantık Metodu" ile model kurulmuştur. Bu yöntemi karşılaştırmak için ve ikinci bir yöntem olarak, tahmin modellerinde sıklıkla kullanılmış istatistiksel yöntemlerden olan "Çoklu Regresyon Analizi" kullanılmıştır.

2.2.1. Bulanık Mantık

1965'de L. A. Zadeh (Lütfi Askerzade), yeni bir matematiksel yöntemi açıklayan "Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)" adlı ünlü makalesinde; "kısa adam", "güzel kadın" veya "1'den daha büyük gerçek sayılar" gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlayan yöntemden bahsetmiştir. O zamandan günümüze, bulanık kümeler kuramı hem Zadeh' in kendisi, hem de sayısız araştırmacı tarafından hızlı bir biçimde geliştirilmiştir. Aynı zamanda bu kuramın gerçek uygulamaları da başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümeler kuramının ana fikri, tamamen sezgisel ve doğal olmasıdır (Sakawa, 1993; Saphoğlu, 2010).

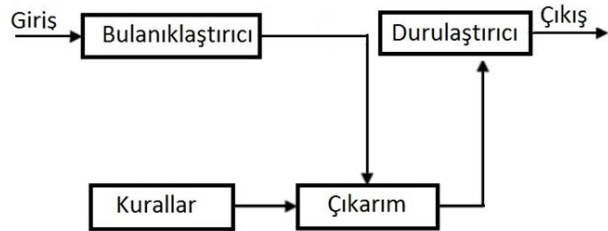
Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir (Şen, 2001; Saphoğlu, 2010).

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 2.1' de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde sayısal veri çıkış veya işlemler yapılmaktadır (Şen, 2001; Saphoğlu, 2010).



Şekil 2. 1. Klasik sistem (Şen, 2001)

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 2.2' de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 2. 2. Bulanık mantığın temel elemanları (Şen, 2001)

Girdi değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. Bulanıklaştırıcının görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin

sayıları haritalamaktır. Kurallar “Eğer-İse” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır. Bir tipik “Eğer-İse” kuralı: “Eğer çekme hızı çok ise, jet grout kolonun serbest basınç mukavemeti azdır” şeklindedir.

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural tabanlı sistemlerde, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bulanık kural tabanında, kullanılan insan deneyimlerinden elde edilen sözel bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın çıkarım makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. Durulaştırma esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Kaynaklarda birçok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur. Seçilen sonuç değeri çoğunlukla ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir (Teodorovic ve Vukadinovic, 1998).

2.2.2. Çoklu regresyon analizi

Çoklu Regresyon analizi, bir bağımlı değişkene (y) birden fazla bağımsız değişkenin (x) etkisini değerlendirmek için uygulanmaktadır. Regresyon fonksiyonunda her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle doğrusal bir ilişkisi olduğu kabul edilmektedir (Saplıoğlu, 2010).

$$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’ deki fonksiyondan yararlanarak değişkenler arasında bulunan çoklu ilişkinin bir tahmini Eşitlik 2.2’ deki fonksiyon yardımıyla hesaplanabilir.

$$y = a + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2’ deki katsayıların hesabı için en küçük kareler yönteminden yararlanarak gerçek y değerleri ile teorik y değerleri arasındaki farklar minimize edilir (Eşitlik 2.3).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (a + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i}))^2 \quad (2.3)$$

Çoklu korelasyon katsayısı için determinasyon katsayısı Eşitlik 2.4 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$R^2 = \frac{n*(a*\sum y + b_1*\sum x_1*y + b_2*\sum x_2*y) - (\sum y)^2}{n*\sum y^2 - (\sum y)^2} \quad (2.4)$$

Yukarıdaki denklemde “R²” belirlilik katsayısıdır ve “R²” için, her bağımsız değişken bir arada değerlendirildiğinde ilişki ile açıklanabilen

değişkenlik (%) değeri elde edilir (Garson, 2008; Saplıoğlu, 2010).

Fakat çoklu regresyon modelinde dikkat edilmesi gereken nokta; belirlilik katsayısı modele dahil edilen değişken sayısı arttıkça artar. Böyle durumlarda, düzeltilmiş belirlilik katsayısına bakılmalıdır. Bir başka deyişle, hangi bağımsız değişkenin ilişkinin kuvvetine katkısı olduğunu anlamak için düzeltilmiş belirlilik katsayısına bakılmalıdır (StatSoft, 2008; Saplıoğlu, 2010).

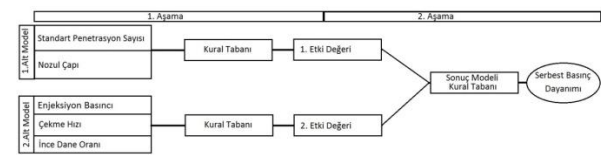
Kullanılan girdi parametrelerinin sonuca etki edip etmediğini, anlamlı bağlantısı olup olmadığını, etkisinin ne kadar olduğunu tespit edebildiği için adım adım ekleme yöntemi tercih edilmiş, ayrıca hesaplama da kolaylık sağlanması açısından SPSS 17.0 programı kullanılmıştır.

Çoklu regresyon analizi için enjeksiyon basıncı, SPT sayısı, nozul çapı, su-çimento oranı, çekme hızı, ince dane oranı parametreleri girdi olarak, serbest basınç dayanımı da çıktı olarak kullanılmış ve jet grout kolonun serbest basıncına etkiyen parametreler belirlenmiştir.

3. Araştırma Bulguları

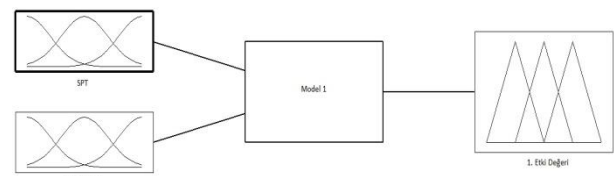
Çalışmada, parametreler iki ayrı parçaya bölünerek iki ayrı model kurulmuş ve bu iki modelden sonuç olarak 0 ve 1 arasında etki değerleri elde edilmiştir. İlk modelde, SPT sayısı ve nozul çapı girdi olarak kullanılmıştır. İkinci modelde ise enjeksiyon basıncı, çekme hızı ve ince dane oranı girdi olarak kullanılmıştır.

İkinci aşamada, ilk aşamadaki iki alt modelden elde edilen etki değerleri sonuç modelimizde girdi olarak kullanılmış ve çıktı olarak jet grout kolonunun serbest basınç dayanımı elde edilmiştir. Kullanılan modele ait şema Şekil 3.1’ de sunulmuştur.

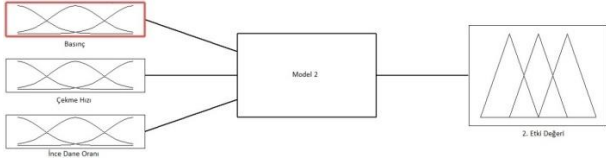


Şekil 3. 1. Jet grout kolonun serbest basınç dayanımının tahmin modelinin genel yapısı

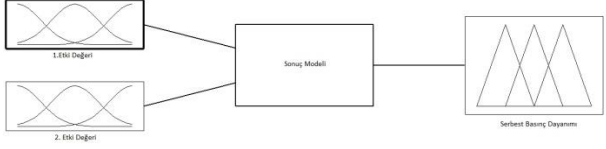
Kurulan bulanık mantık modellerinin genel yapıları aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.2 ;3.3; 3.4)



Şekil 3. 2. Birinci etki değerini veren model 1’ in genel yapısı

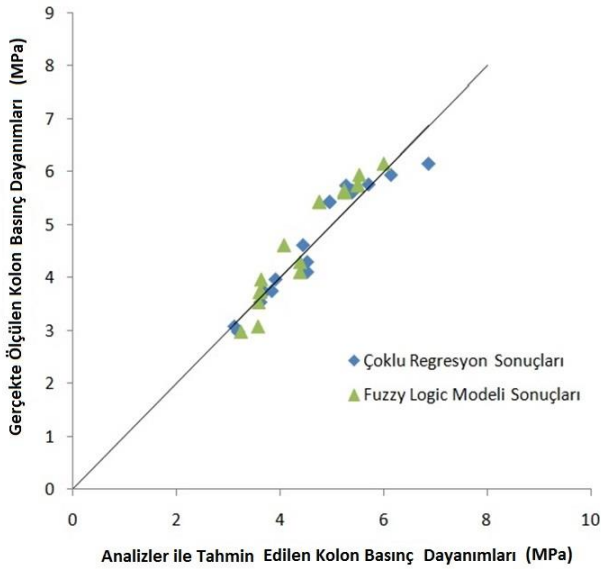


Şekil 3.3. İkinci etki değerini veren model 2'nin genel yapısı



Şekil 3.4. Serbest basınç mukavemetinin veren sonuç modelinin genel yapısı

Yapılan bulanık mantık ve çoklu regresyon analizleri sonucunda elde edilen jet grout kolon serbest basınç dayanımları ile gerçekte ölçülen serbest basınç dayanımları Şekil 3.5' te grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Bulanık mantık ve çoklu regresyon analizi ile elde edilen sonuçların gerçekte ölçülen sonuçlarla karşılaştırılması

4. Sonuç ve Öneriler

Zemin ve temel güçlendirmesi için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Son yıllarda ülkemizde yaygın olarak kullanılmaya başlayan jet grouting yöntemi, diğer yöntemlere kıyasla daha ekonomik olması ve daha kısa inşaat süresine sahip olması, neredeyse her tür zeminde ve mevcut yapılarda da uygulanabiliyor olması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

Yöntemin başarılı ve etkili olabilmesi için en önemli detay, uygun jet grout yapım aparatlarının ve parametrelerin belirlenmesi ve imalatın sonuna

kadar bunlara bağlı kalınarak projenin tamamlanmasıdır. Bu yüzden, imalattan önce sahada deneme kolonlarının oluşturulması ve imalat süresince kalite kontrol testlerine devam edilmesi önemli ve gereklidir.

Son yıllarda jet grout yönteminde kullanılan klasik yöntemlerin, durumu tam yansıtamadığı ve bu yöntemlerle güvenlik sayılarının yüksek alınarak ekonomikliğin olumsuz etkilendiği görülmektedir. Bu yüzden jet grout yönteminde kullanılmak üzere çeşitli sayısal analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, bazı zemin ve jet grout imalat parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen bulanık mantık ve çoklu regresyon analizleri ile jet grout kolonların serbest basınç dayanımları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Makale kapsamında, bazı jet grout imal ve zemin parametreleri ile jet grout kolonların serbest basınç dayanımları arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan bulanık mantık ve çoklu regresyon analizleri sonucunda parametreler ve serbest basınç dayanımı arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülmüştür.

Sinir ağları modelleri ve veri analiz yöntemlerinin, jet grout kolonun serbest basınç dayanımını hesaplamak için yeterli algı becerisine sahip olduğunu ifade etmek de mümkündür.

SPT sayısı, enjeksiyon basıncı, çekme hızı, nozul çapı ve ince dane oranının serbest basınç dayanımına etkileri sırasıyla %4.2, %18.6, % 50.6, %10.8 ve %15.8 olarak tespit edilmiştir.

Jet grout kolon serbest basınç dayanımının; standart penetrasyon sayısı ve nozul çapının artması ile arttığı, çekme hızı ve ince dane oranının artmasıyla azaldığı sonucu elde edilmiştir.

Yapılan analizlerde bulunan tahmini değerler, gerçek değerlere uyumlu sonuçlar vermiştir. Her iki analiz için de belirlilik katsayısı (R^2), yaklaşık 0,91 bulunmuştur. Ancak kullanımın daha kolay olması ve daha çabuk uygulanabilen bir yöntem olması nedeniyle çoklu regresyon yöntemi öncelikli olarak tercih edilebilir.

Veri sayısının az oluşu ve çok fazla çeşitli olmayışı dezavantajına rağmen tatmin edici sonuçlar alınmıştır. Daha fazla ve çeşitli veri elde edilebilmesine imkan tanıyacak bir modelle ve genişletilen analizlerle, çalışma daha da geliştirilecektir.

Teşekkür

ÖYP05278-YL-12 No'lu Proje ile bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi ÖYP Koordinatörlüğü' ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akan, R., 2013. Jet Grout Yönteminin Zemin İyileştirmesine Katkısının Ve Bu Yöntemde Kullanılan Parametrelerin Etkilerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Bakım M. A., 2007. Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 157s, Isparta.

Garson, G.D., 2008. Guide to Writing Empirical Papers, Theses and Dissertation. <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>.

Sakawa, M. 1993. Fuzzy Logic with Engineering Applications. McGraw-Hill Inc., USA.

Saplıoğlu, M., 2010. Şehiriçi Denetimsiz Kavşaklar İçin Bir Kaza Tahmin Modeli. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

StatSoft, Inc., 2008. İnternet sitesi. <http://statsoft.com/textbook/stathome.html>.

Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, İstanbul.

Teodorovic, D., Vukadinovic, K., 1998. Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach, Kluwer Academic Publishers, Boston.

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8, 338-353.

ZETAŞ A.Ş. Jet Grout ile Zemin Güçlendirme Şantiyesine Ait Veri Raporu.