

İnce Daneli Zeminlerde Jet Grout ve Fore Kazık Yöntemleri ile Zemin İyileştirilmesi ve Yapılabilirliğinin Optimizasyonu

Furkan Hüseyin ATAŞ^{1*}, İbrahim Feda ARAL²

¹*Alsim Alarko Taahhüt Grubu, İstanbul, Türkiye*

²*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu, Türkiye*

Geliş: 17.09.2024, Kabul: 20.12.2024, Yayınlanma: 29.10.2024

ÖZ

Jet grout; ülkemizde ve dünyada oldukça geniş bir kullanımı olan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem ile zemin içerisinde jet grout kolonları oluşturulmaktadır. Yapım aşamasındaki ekipmanlar, jet grout harcının su/çimento oranı, tij dönme ve çekme hızları, tijlerin uç kısmında bulunan nozul sayıları gibi birçok üretim parametresi, oluşturulacak olan jet grout kolonlarının yapısı, performansı ve uygunluğunu belirlemektedir. Bu çalışmamızda jet grout kolonlarının üretimi, kullanım alanları, jet grout türleri ve jet grout ile zemin uyumluluğu, yöntem ile ilgili literatür taramalarının yanı sıra sahaya uygulanabilirliği, işlem sürecinin maliyet ve adam x saat verileri ile paket olarak uygulanabilirliği belirlenilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında jet grout yönteminin uygulama bazındaki avantajlarının konulması için yapılmış olan bir diğer projede farklı bir zemin iyileştirme yöntemi olan fore kazık yönteminin yapım koşulları ile karşılaştırılması yapılmış ve her iki zemin iyileştirme yönteminin optimizasyonu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yöntemlerden; 1 m fore kazık üretiminin, 1 m jet grout üretimine göre % 30 daha fazla zaman aldığı ve maliyet olarak da 11,5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jet grout; Fore Kazık; Zemin İyileştirme; Optimizasyon,

Soil Improvement and Optimization of Fability with Jet Grout and Bored Pile Methods in Fine-Grained Soils

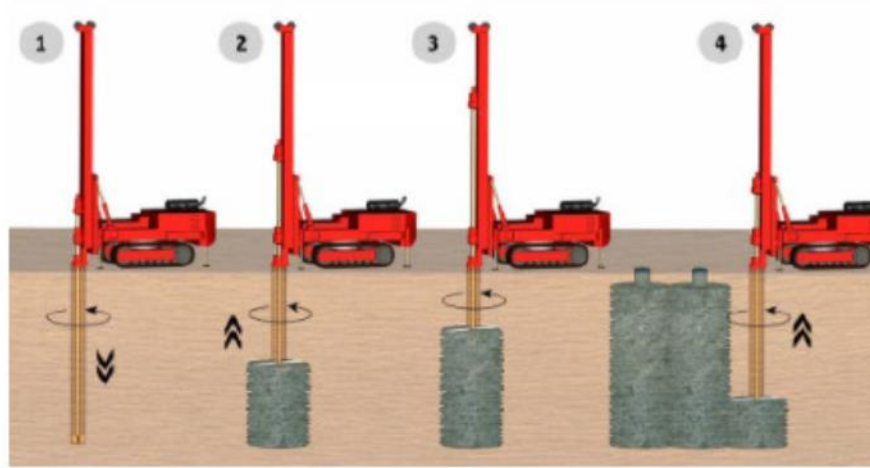
ABSTRACT

Jet grout; is a ground improvement method that is widely used in our country and in the world. Jet grout columns are formed in the ground with this method. Many production parameters such as the equipment in the construction phase, water/cement ratio of the jet grout mortar, rod rotation and withdrawal speeds, and the number of nozzles located at the tip of the rods determine the structure, performance and suitability of the jet grout columns to be formed. In this study, the production of jet grout columns, areas of use, jet grout types and jet grout and ground compatibility, literature research on the method as well as its applicability to our field, the cost of the production process and man x hour data and its applicability as a package were tried to be determined. In addition, in another project carried out to reveal the advantages of the jet grout method in terms of application, a comparison was made with the construction conditions of the bored pile method, which is a different ground improvement method, and the optimization of both ground improvement methods was tried to be revealed. Among the methods; It has been determined that 1 m bored pile production takes 30% more time than 1 m jetgrout production and costs 11.5 times more.

Keywords: Jet grout; Bored Pile; Soil Improvement; Optimization;

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve yapılaşma gereksinimi nedeniyle zeminlerin sağlam ve yeter düzeydeki taşıma kapasitesinde, uygun mukavemet özelliklerde bir zemin bulabilmek, en önde gelen mühendislik sorunlarından biri durumundadır. Kentlerimizin artan nüfusa bağlı olarak yapılaşmanın nitelikli hale gelmesinde uygun özelliklerde zemin bulmak ya da uygun hale getirmek gerekmektedir. Yöntem; jet grout ekipmanı ile zemin içerisine su-çimento karışımı verilmesiyle oluşturulan harç zemin karışımı ile zeminin özelliklerinin iyileşmesidir. Bu yöntem ile zemin içerisinde kolonlar üretilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Jetgrout imalat görüntüsü

Zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan farklı yöntemlerde yapılan çalışmalarda; Kirsch ve Sonderman (2001) yapı temeli zemin iyileştirilmesinde kolon sıklığına bağlı olarak kazık ya da iyileştirilmiş zemin rol oynadığını belirtmiştir. Sağlamer vd., (2001) jet grout yöntemi ile zeminlerde oturmaların azaltılması ve sıvılaşma riskinin azaltılması olduğunu belirtmiştir. Gümüş (2002) jet grout yönteminin zemin iyileştirmelerinde son yıllarda en çok uygulanan yöntem olduğunu ve birçok geoteknik problemin de çözümünü gerçekleştirdiğini belirtmiştir. Burke (2004) jet grout sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarını belirtmiştir. Sert vd. (2007) köprü ayağı oturmalarında 50 m aşağıdaki temel kayaya sadece çelik profil kazıklarla sıfırlanacağını, meydana gelecek uzun süreli oturmaların jet grout kolonlar ile kabul edilebilir düzeye çekilebileceğini belirtmişlerdir. Tschuchnigg ve Schweiger (2008), jet grout kolonların bilinen kazıklı radye temellere ekonomik anlamda alternatif olarak kullanılabileceğini belirtilmişlerdir. Algın (2013), geoteknik mühendisliğinde son derece karmaşık bir problem olan jet grout kolonları ile iyileştirilmiş zemin radye temel ile birlikte üç boyutlu sonlu elemanlar ile modellenmiş ve analizlerini yapmıştır. Kaymakçı (2014) kazıklı temellerin maliyetlerinin daha fazla olduğunu, ve jet grout ile kazıklı temelin

birlikte çalışma prensiplerini irdelemiştir. Zhao ve arkadaşları (2023), Jet grout kolonu çapının tahmini ve tasarımı için bir model önerilmiş, bu modelin kolon çaplarında % 95 güven aralığı olduğunu belirtmektedirler.

Jet grout yapımında kullanılan ekipmanlar, harcın su-çimento oranı, tij dönme ve çekme hızları, tijlere bağlı nozul sayıları ve basınç miktarı gibi birçok üretim parametreleri, yapılacak olan jet grout kolonunun yapısı, performansı ve uygunluğunu etkilemektedir. Bu çalışmada üretilen jet grout kolonunun, kullanım alanları, türleri ve zemin güçlendirme yöntemine yönelik literatür taramalarının yanında uygulanabilirliği, üretim aşamalarındaki maliyet ve adam x saat bulguları değerlendirilmiştir. Bununla birlikte bu çalışmada jet grout üretiminin uygulama bazındaki avantajlarının gösterilebilmesi için yapılmış olan farklı bir projeden bir başka zemin iyileştirme yöntemi olan fore kazık yöntemi ile karşılaştırılması ve denştirilmesi yapılmıştır. Bu makalede yapılan karşılaştırmalar 3 aşamada değerlendirilmiştir;

1. Afyonkarahisar ilindeki bir konut projesinin zemin iyileştirilmesi ile üretimden önce ve sonraki zemine ait değerlerinin karşılaştırılması ve maliyet analizlerinin yapılması.
2. İstanbul İli, Beşiktaş ilçesinde yapılan zemin iyileştirilmesi ile üretimden önce ve sonraki zemine ait verilerin denştirilmesi ve maliyet analizlerinin yapılması.
3. Afyonkarahisar da yapılan toplu konut projesi jet grout imalatı ve İstanbul ilinde yapılan metro istasyonu fore kazık imalatının uygulama, zaman, maliyet, avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması.

2. JET GROUT YÖNTEMİ

2.1 Jet Grout Yönteminin Tanımlanması

Üretimin yapılacağı zemine ait özelliklerin yetersiz olması bu durumda yapılacak yapılaşmayı sorunlu hale getirmekte ve/veya yapılacak yapının elemanlarının hizmet süresini azaltacaktır. Zemine ait değerlerin; taşıma gücü, zeminin oturma miktarı, sıvılaşma riski, geçirimsizlik kapasitesi vb. özellikler açısından değerlendirilir. Yapıya ait çalışmalar zemin değerlerinin güçlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Zemin güçlendirmenin amacı zeminin fiziksel ve mekanik değerlerinin iyileştirilmesini hedeflemektedir. Zeminin güçlendirilmesi; zeminin dayanımının, taşıma gücünün ve elastisite modülünün yükseltilmesi ile zeminin geçirgenlik düzeyinin azaltılması gibi özelliklerin iyileştirilmesini hedefler. Planlanan çalışmaya göre öncesinden tespit edilen, uygun zemin değerlerinin adına arazi koşullarına uyan bir metot seçilerek zemin güçlendirilmesine gidilir. Bu metodun uygulanabilirliği, zaman, maliyet, risk gibi birçok etkende zemin güçlendirme öncesinde proje üzerinde değerlendirilebilmektedir. Uygun ve en iyi

verim hedeflenen bir metot seçilerek zemin iyileştirme yöntemine geçilir. Uygulanan bu yöntemin neticesinde şu aşağıdaki maddelerde beklentiler gerçekleşir;

- Zemine ait taşıma gücünün yükseltilmesi
- Zemine ait geçirgenlik düzeyinin düşürülmesi
- Zeminin sıvılaşma dayanımının yükseltilmesi
- Zemine ait oturma miktarının düşürülmesi

Jet grout yöntemi ile zeminin güçlendirme yapılmasının başlıca kullanım alanları; Zeminde temel altı kullanılan bu yöntem yukarıdan gelecek düşey yüklere karşı taşıma gücünü yükseltmek ve deplasmanların (yer değiştirme) denetlenmesini sağlamaktır. Kolonların demirli olarak üretilmesi ile yeraltı suyu içerisinde yapımı gerçekleşecek yapıların temelinde oluşacak ters yönlü kaldırma kuvvetinin önüne geçilmesi. Kazıların olduğu kesimde, yanaldaki zemin yüklerine karşı güvenlik sağlamak amacı ile. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde kazı esnasında zemin geçirimsizlik oranını azaltarak zeminde bulunan taşıyıcı elemanlar arasında önleyici kapama elemanı olarak. Yeraltındaki yapılaşmalarda (tüneller, galeriler vb.), kazı üzerindeki zeminin güçlendirilmesine yönelik. İnce kumlu ve sıvılaşmaya yönelik zeminlerde, riskin azaltılması ve zeminde oluşacak olan kayma gerilmelerinin yükseltilmesi için. Deprem esnasında zayıf zeminlerdeki yer değiştirmelerin (deplasmanların) kısıtlanması için.

Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirmesinde özen gösterilmesi gereken birtakım konular bulunmaktadır. Jet grout enjeksiyonu esnasında zeminden öğütülen danelerin bentonit şerbeti ile karıştırarak, kesici ucun bulunduğu kısımdan yukarıya doğru çıkabilmesi için kesici uç gövdeden daha geniş olmasıdır. Kesilen zemin daneleri ile karışan şerbetten oluşan malzemenin yüzeye yükselmesi sağlanarak yapılan zemin iyileştirme verimi artırılabilir. Basıncı yüksek olarak yapılan jet grout üretimi sırasında delme işlemi için kullanılan ekipmanın çevresinde belirli bir miktarda karışımın taşınması veya akması gerçekleşebilir. Enjeksiyonu yapılan zeminde basıncın aşırı olup olmadığını geri akış ile kontrol edilebilir. Aşırı basıncın olması, sistem içerisinde belirli bir kısmını ve ya tamamını ve bununla birlikte komşu yapıların stabilitesini de tehdit edebilir. Yüksek basınç zeminde deformasyonlara neden olabilir, bunun yanında jet kolonlarının da süreksizlik oluşmasına neden olur. İyileştirme sırasında olan geri akış miktarı zeminin türüne ve geçirebilme özelliğine bağlı olarak değişebilir. Geri akışın; ince daneli killi zeminlerde yüksek, iri daneli kumlu ve çakıllı zeminlerde ise düşük olması beklenmektedir. Proje çalışmalarında ortalama olarak zemine verilen şerbetin miktarının %10 u kadarlık bir kısmı geri akış olarak beklenebilir (Şekil 2).



Şekil 2: Jetgrout saha çalışması.

2.2 Jet Grout Sistemleri

• Tek Akışkanlı Sistem (Jet 1)

Zemin içerisine indirilen ekipmanın yardımı ile zemine su ve çimento karışım şerbeti belirli bir basınç altında enjekte edilebilir. Belirli bir basınç altında zemine verilen su-çimento karışımı, zeminin parçalanmasını ve şerbet ile (su-çimento) karışarak bütünleşmesini sağlamaktadır. Bu sistem tek bir sıvı olarak verildiğinden bu prosese tek akışkanlı sistem adı verilmektedir.

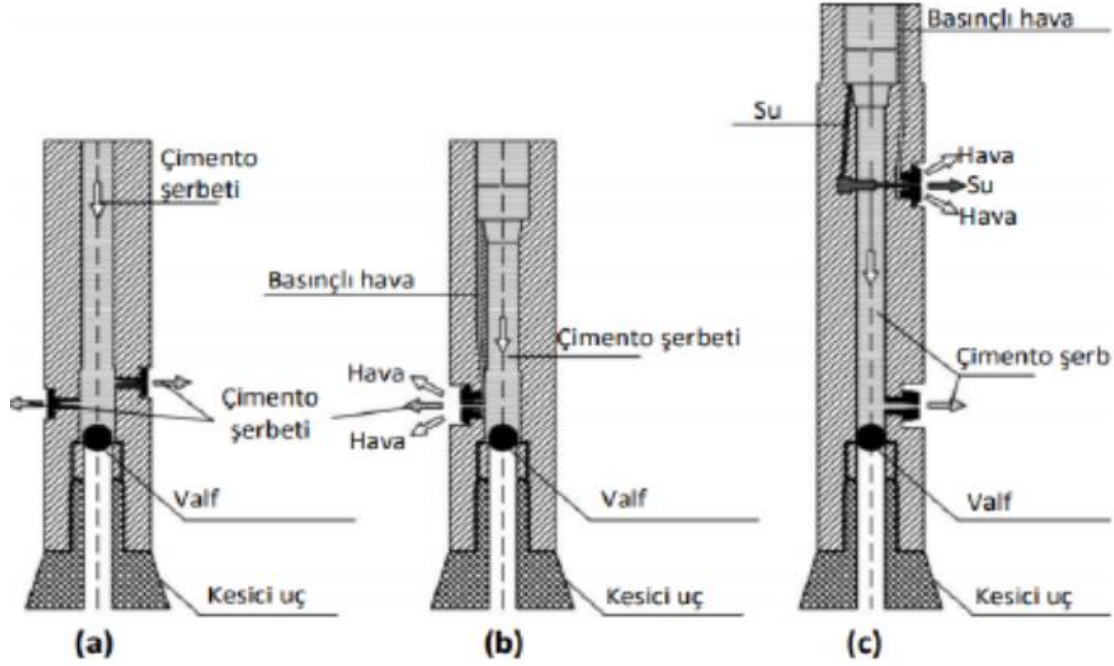
• Çift Akışkanlı Sistem (Jet 2)

Çift akışkanlı sistem; üretim aşamasında iki akışkan verilmesinden kaynaklanmaktadır. Tek akışkanlı sistemde zemine yüksek basınç ile verilen su-çimento karışımının zemini parçalayarak ve çimento ile karışarak bir bütün olmasını sağlamaktadır. Çift akışkanlı sistemde şerbet enjeksiyonu yapılırken ayrıca basınçlı hava jeti de verilmektedir. Bu metot da enerji kayıplarını minimize etmek ve sistemin verimliliğinin yükseltilmesi hedeflenmiştir.

• Üç Akışkanlı Sistem (Jet 3)

Bu sistemde ise ekipmanlar ile zemine yüksek basınçta verilen karışım, zeminin parçalaması ve şerbet ile bütünleşerek süreç tamamlanmaktadır. Tijlerin üst kısmına doğru bulunan nozuller yardımı ile uygulanan yüksek basınçta su jeti ile zeminin parçalanması gerçekleştirilirken, tijlerin alt kısmında bulunan diğer bir bölümde nozuller ile çimento şerbeti zemin içerisine verilmektedir. Bununla birlikte tijlerin yukarı kısmından verilen basınçlı su jeti enerji kaybını düşürerek, çift akışkanlı sistemdeki gibi hava ile beraber

verilmektedir. Alt kısımdan uygulanan şerbet ise sadece zemin ile karışımı hedeflediğinden üsttekilere nazaran düşük basınçta verilmektedir (Şekil 3).

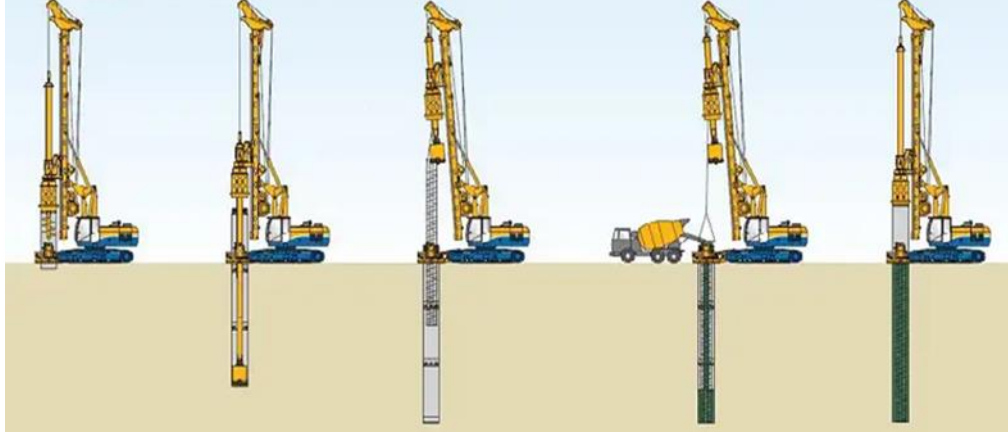


Şekil 3: (a) jet 1, (b) jet 2, (c) jet 3.

3. FORE KAZIK YÖNTEMİ

Fore kazıklar, değişik yöntemlerle zemin içerisinde oluşturulan betondan (donatılı veya donatısız) oluşturulan silindirik yapılardır. Yapıdan gelecek yükleri zemine ileten yapısal elemanlardır. Bir dizi halinde veya sekant konfigürasyonda yapıldıklarında, yükü sağlam zemine aktarmanın yanında ulaşılan yeraltı suyu için bir önleme duvarı oluşturabilirler. Kazıkların uzunluğu, çapı, yapımdaki kullanılan malzemesi, geometrisi ve yerleşimi, ne amaçla yapıldığına bağlı olarak değişebilir. Fore kazık üst yapıdan gelen ağır dikey yüklere karşı destekleyen, bir tür betonarmeden oluşan temel yapısıdır. Fore kazık, yerinde uygulanan bir temel yapısıdır. Bu fore kazıklar, prekast beton kazık ve kullanan eğrilmiş kazık ve bir de betonarme kare kazıklı temellerden farklıdır. Fore kazık eğer çakma şeklinde yapılmış ise bunlar köprü temellerinde, yüksek bina temellerinde ve büyük endüstriyel yapı temellerinde kullanılırlar. Fore Kazık işlemi oldukça derinlere kadar inebilen (60 m ye kadar yapılan vardır) ve 2,4 m. çapa kadar ulaşan kazıklar üretilebilmektedirler (Şekil 4). Zeminde kazık için delme işlemi çelik silindir ile gerçekleşir, zeminde silindirik boşluk açıldıktan

sonra, hazırlanmış silindirik donatı açılan deliğe indirilir, ardından delik hazır beton basılarak doldurulur (Şekil 5). Yığının tepesi, yukarıdaki yapıyı tutan yüzeye yakın bir temel veya payandayla kapatılabilir. Ayrıca yanal toprak basınçlarının tutulması ve yeraltı suyu perdeleme yapıları olarak da yapılabilmektedir.



Şekil 4: Fore kazık yapım aşamaları.



Şekil 5: Fore kazık yapım işleminin zemin içerisindeki yapım işleminin tamamlanmış hali.

4. PROJE ÖRNEKLERİ

Bu çalışmamızda Afyonkarahisar İli, Merkez İlçesi, Çetinkaya Mahallesiindeki 160 konutluk altyapı ve çevre düzenlemesi işinde blokların altındaki zemin iyileştirme projeleri, zemin elde edilen saha ve laboratuvar değerlerinin, jet grout uygulaması ile zemine ait değerler irdelenmiştir. Jet grout projesi ile birlikte; uygulanabilirlik, zaman, maliyet, avantaj ve dezavantajların değerlendirildiği ve

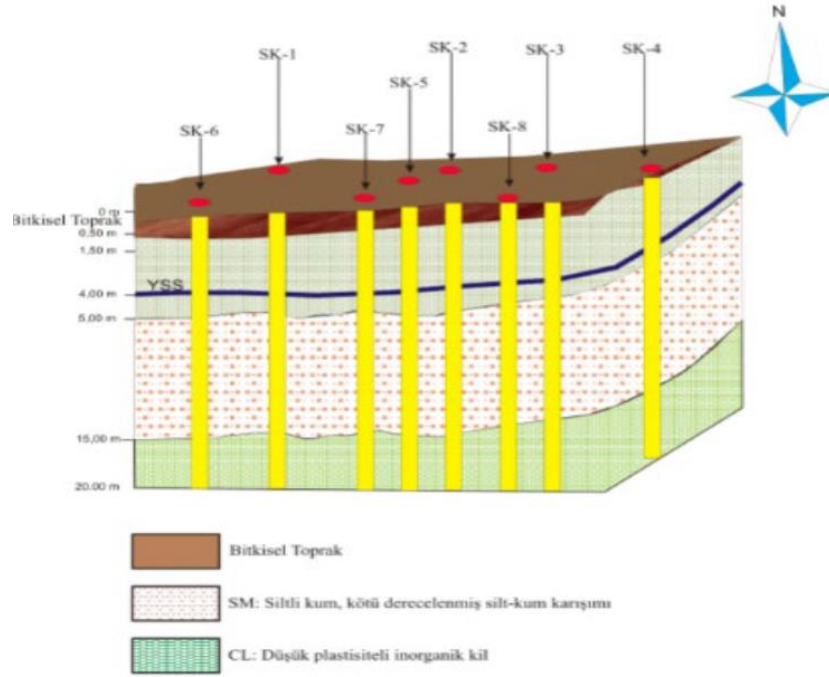
karşılaştırılabilmesi açısından yapılan bir diğer çalışma fore kazık imalatı ile kıyaslanmıştır. Fore kazık çalışması olarak da İstanbul İli, Beşiktaş İlçesinde bulunan ve Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro projesi kapsamında yapılan Beşiktaş Metro İstasyonu zemin iyileştirme projelerinden faydalanılmıştır. Değerlendirilen her iki projede de akredite olmuş firmaların çalışmaları ve arazi, laboratuvar çalışmaları bu çalışmamızda kullanılmıştır. Elde edilen bu bilimsel veriler bu çalışmamızda değerlendirilerek, kıyaslanması ve optimizasyonu yapılmıştır.

4.1. Afyonkarahisar İli Toplu Konut Zemin İyileştirmesinde Jet Grout Yöntemi

"Afyonkarahisar İli, Merkez Çetinkaya Mahallesi, 160 Konut ile Altyapı ve Çevre Düzenlemesi İnşaatı İşi" kapsamında 83 pafta 24 parselde kayıtlı, 30.000,000 m² büyüklüğünde alana projelendirilen toplu konut projesidir (Ataş, 2021).

Çoklu konut projesinin olduğu bu alanda bu projeden önce yapılmış bir başka zemin çalışması bulunmamaktadır. Yapılacak olan bu proje alanının bulunduğu Akarçay havzasında olması nedeni ile yeraltı su seviyesinin doğurduğu risklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. DSİ Bölge Müdürlüğünden alınan görüş; 15/06/1951 tarihli Bakanlar Kurulu kararınca "*Akarçay'ın taşkın sahası içerisinde kalan kısmında her türlü yapılaşma yasaklanmıştır*" ifadesi bulunmaktadır. Bunun yanında çoklu konut yapısının konuşlandırılacağı bu sahanın eğim yapısı daha düşük kotlarda bulunması nedeni ile yeraltı su seviyesinin yükseldiği kış ve bahar mevsimlerinde yüzeye 0 ila 1 metreye kadar yaklaşan yeraltı suyuna maruz kaldığı belirlenmiştir. Gerekli drenaj ve izolasyon çalışmalarının yapılması ve zemindeki yeraltı su seviyesinin yükselmesini önleyecek zorunlulukların alınması koşuluyla bölgede konutlaşmaya izin verilmiştir.

İnceleme alanı ile ilgili yapılan zemin inceleme aşamasında 8 tane 20 m derinlikte, toplamda 160 m zemin sondajı açılmış ve jeolojik blok diyagram oluşturulmuştur (Şekil 6). İnceleme kuyularında her 1,5 m de bir SPT (Standart Penetrasyon Testi) yapılarak alınan zemin numuneleri TS 1901'e uygun olarak laboratuvar da analize tabi tutulmuşlardır. Kuyularda tespit edilen yeraltı su seviyelerinin 3,90 - 4,20 m arasında olduğu belirlenmiştir. Sondajlı çalışmalarda mevcut kuyulardan 24 tane SPT, 16 tane UD numunesi laboratuvarda incelenmiş ve zemin numuneleri üzerinde; serbest basma mukavemeti, doğal su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık, konsolidasyon, dane boylanma analizi, atterberg limitleri, kohezyonu ve içsel sürtünme açısı analizleri tamamlanmıştır (Çizelge 1). Zemin iyileştirme proje çalışmalarında ve yapılan zemin deneyleri verilerine göre; alanda jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi yapılmasının daha optimum olduğu kararı verilmiştir.



Şekil 6: İnceleme alanı jeolojik blok diyagramı.

Çizelge 1: SPT ile zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları (Ataş, 2021).

Açıklamalar	Tabaka Kotları (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	B. Hacim Ağırlığı (kN/m ²)	Drenajsız Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı ϕ
Nebati Toprak	0,00-0,50	0,50	-	-	-
Çakıllı kumlu siltli kil	0,50-5,50	5,00	17,0	35	0
Çakıllı killi siltli kum	5,50-14,50	9,00	17,0	0	22
Çakıllı kumlu siltli kil	14,50-20,00	5,50	17,0	35	0

Zemin inceleme çalışmalarına göre inceleme alanındaki mevcut zemine ait taşıma kapasitesi yaklaşık 0,50 kgf/cm² civarında olduğu saptanmıştır. Zeminin toplam oturma miktarı ise 7,56 m olduğu belirlenmiştir. Üst yapının statik projeleri ve hesaplamaları sonucu, temel maksimum gerilme miktarının 1,42 kgf/cm² olduğu saptanmıştır. Proje hesaplamalarında idealize edilmiş zemin modeli ve parametrelerinin üzerinden taşıma kapasitesi sorununun yanında, sıvılaşma ile ilgili analizler de yapılmıştır. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucu değerlendirildiğinde zeminin bir sıvılaşma riski ile karşı karşıya olduğu belirlenmiştir. Bu tespitler sonrası yapılan değerlendirmelerde gerek taşıma kapasitesi sorunu ve gerekse sıvılaşma sorununa karşılık;

önlem paketi olarak 2,60 m aralıklı 14 m derinliğine ve 80 cm çapa sahip jet grout kolonlarının üretilmesinin uygun olduğu kararı verilmiştir (Ataş, 2021).

Arazide yapılan çalışmalar esnasında sondaj kuyularında SPT deneyleri ile numune alınmıştır. Yapılan SPT- N_{min} değerleri N_{60}^1 olarak aşağıda verilen formüller (1, 2, 3 nolu) ile düzeltilerek Çizelge 1 de verilmiştir.

$$N_{düz} = 15 + \frac{(N-15)}{2} \quad (1)$$

$$N_{60} = \frac{N_{düz} \times E_M \times C_B \times C_S \times C_R}{60} \quad (2)$$

$$N'_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100}{\sigma'_z}} \quad (3)$$

- $N_{düz}$ = Boşluk suyu basıncı düzeltilmiş SPT sayısı
- N_{60} = Arazi prosedürlerine göre düzeltilmiş SPT N değeri
- E_M = Şahmerdan etkinlik oranı
- C_B = Kuyu çapı düzeltmesi
- C_S = Örnek alıcı düzeltmesi
- C_R = Tij uzunluğu düzeltmesi
- N'_{60} = Düzeltilmiş SPT-N değeri

Çizelge 2: İnceleme alanından alınan Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Elek Analizi verileri (Ataş, 2021).

Derinlik (m)	Arazide Ölçülen SPT- N_{min} Değeri	Düzeltilmiş SPT-N Değeri N'_{60}	200 Nolu Elekten Geçen Malzeme -%
1,50	7,0	5,3	73,5
3,00	8,0	6,0	67,7
4,50	13,0	11,1	61,6
6,00	10,0	9,5	73,8
7,50	9,0	8,0	18,8
9,00	8,0	6,7	-
10,50	10,0	8,3	-
12,00	5,0	4,0	-
13,50	8,0	6,0	19,3
15,00	13,0	9,4	70,1
16,50	10,0	7,0	73,5
18,00	12,00	8,1	67,7
19,50	15,00	9,8	61,6

Elde edilen sonuçlar sonrası, Skempton (1986) kuralına göre şahmerdanın etkime oranının % 60 olarak uygulanmasının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen düzeltmelerin yanında sondaj kuyu çapı,

numune alıcı ve tijlere ilişkin verilerdeki düzeltmeler de yapılmıştır. Bu düzeltme çalışmaları akabinde zemine ait düzeltilmiş SPT-N değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 2).

Projelendirilmesi yapılan jet grout kolonlarının imalat işlemlerine geçilmiş ve zamana bağlı olarak optimizasyon hesapları yapılmıştır. Optimizasyon hesaplarının yapılabilmesi adına öncelikle projede verilen 80 cm çapında ve jet 1 yöntemi ile üretilen 1 m jet kolonun birim uzunluk için adam x saat hesapları ortaya konulmuştur (Çizelge 3). Adam x saat hesaplamalarının yapılabilmesi adına gerekli verilerin tamamı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2024 Yılı Birim Fiyat ve Analizlerinden alınmıştır.

Çizelge 3: 80 cm çapında ve Jet 1 yöntemi ile üretilen jet kolonunun Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat 2024 Birim Fiyatlarına göre hesaplanmış 1 metrelik imalatın adam/saat hesabı.

Poz No	Poz Tanımı	Birim	Miktar	Toplam Adam x Saat Miktarı
15.135.1002	Her uzunluk her aç ve her türlü zeminde Ø 80 cm jet kolonu üretiminin yapılması, delgi dahil (jet 1 yöntemi ile)			5,635
	Monitoring sistemli; yüksek basınç pompası, su pompası, kompresör, karıştırıcı ünitesi, silo, su tankı ve benzerinden oluşan ekipman ile delgi makinesi ve sarf malzemeleri karşılığı			
19.100.1107	Jet grout ekipmanları ve delgi makinesi	saat	4,885	
19.100.1060	Formen	saat	0,250	
19.100.1062	İşçi (inşaat işçisi)	saat	0,500	

- Proje zemin iyileştirme işleri kapsamında 14 m derinliğinde ve 0,80 m çapında, toplamda 154 adet jet kolonu bulunmaktadır. Bu jet kolon üretimine ait; toplam adam x saat hesaplaması; (5,635 adam x saat/m tül) x (2156 m tül) = 12.149,06 adam x saat olarak belirlenmiştir.
- Her iki zemin iyileştirme çalışması hesabı yapılırken fore kazık ve jetgrout ekipmanlarından delgi makinesinden kaynaklı makine x saat hesabı ayrı olarak gösterilmemiştir. Bunun nedeni ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca her iki ekipmanın makine x saat değerlerinin esaslarca eşit olarak verilmesidir.

Bir sonraki adımda farklı jet grout tekniklerine göre adam x saat hesaplarının kıyaslanabilmesi adına 80 cm çapında ve jet 2 yöntemi ile üretilen 1 m jet kolonun birim uzunluk için adam x saat hesapları ortaya konulmuştur (Çizelge 4).

- Proje zemin iyileştirme işleri kapsamında 14,00 m uzunluğunda ve 80 cm çapında toplam da 154 adet jet grout kolonu bulunmaktadır. Bu jet grout kolon üretimine ait; toplam adam x saat hesaplaması (6,920 adam x saat/m tül) x (2156 m tül) = 14.919,52 adam x saat olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4: 80 cm çapında ve Jet 2 yöntemi ile üretilen jet kolonunun, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat 2024 Birim Fiyatlarına göre hesaplanmış 1 metrelik imalatın adam/saat hesabı.

Poz No	Poz Tanımı	Birim	Miktar	Toplam Adam x Saat Miktarı
15.135.1004	Her uzunluk her açı ve her türlü zeminde Ø 80 cm jet kolonu üretiminin yapılması delgi dahil (jet 2 yöntemi ile)			6,920
	Monitoring sistemli; yüksek basınç pompası, su pompası, kompresör, karıştırıcı ünitesi, silo, su tankı ve benzerinden oluşan ekipman ile delgi makinesi ve sarf malzemeleri karşılığı			
19.100.1107	Jet grout ekipmanları ve delgi makinesi	saat	4,885	
19.100.1025	Kompresör	saat	1,285	
19.100.1060	Formen	saat	0,250	
19.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	saat	0,500	

Jet grout kolon üretimine ait (80 cm çaplı ve Jet 1 yöntemi ile) 1 m maliyet hesaplaması aşağıda çizelgede verilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5: 80 cm çapında ve Jet 1 yöntemi ile üretilen jet kolonunun, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat 2024 Birim Fiyatlarına göre hesaplanmış, 1 metre imalatın maliyet hesabı.

Poz No	Poz Tanımı	Ölçü Birimi	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
15.135.1002	Her uzunluk her açı ve her türlü zeminde Ø 80 cm jet kolonu üretiminin yapılması delgi dahil (jet 1 yöntemi ile)				830,053
	Monitoring sistemli; yüksek basınç pompası, su pompası, kompresör, karıştırıcı ünitesi, silo, su tankı ve benzerinden oluşan ekipman ile delgi makinesi ve sarf malzemeleri karşılığı				
19.100.1107	Jet grout ekipmanları ve delgi makinesi	saat	0,085	6.015,20	511,29
10.130.9991	Su	m ³	0,650	35,00	22,75
19.100.1060	Formen	saat	0,250	272,00	68,00
19.100.1062	İşçi (inşaat işçisi)	saat	0,500	124,00	62,00
	Malzeme + İşçilik Tutarı				664,04
	% 25 Yüklenici Karı ve Genel Giderler				166,01
	1 m Ø 80 cm Jet Grout Kolonu Üretimi Yapılması birim Maliyeti				830,05

- Proje zemin iyileştirme işleri kapsamında 14,00 m uzunluğunda ve 80 cm çapında toplam da 154 adet jet grout kolonu bulunmaktadır. Bu jet grout kolon üretimine ait; toplam maliyet hesaplaması $(830,05 \text{ TL/mtül}) \times (2156 \text{ m tül}) = 1.789.587,8 \text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır.
- Yapılan maliyet hesaplamalarında birim fiyat tarifine uygun olarak yapılan yükleme-boşaltma, yatay-düşey taşıma, malzeme ve kaybı, işçilik, makine, ekipman giderleri ile yüklenicinin genel giderleri ve kâr hesaplama kapsamaya alınmıştır.
- İmalatlarda ve enjeksiyonda kullanılacak çimento ve katkıları birim fiyata dahil edilmemiştir. Dahil edilmek istenirse rayiç fiyatlar üzerine yine tabloda gösterildiği gibi %25 yüklenici karı eklenmesi gerekmektedir. Çimento ve katkı nakliye fiyatları için S.N.B.F. kodlu 2018 yılı nakliye fiyatları alınarak 2024 yılına uygun yine Ç.Ş.ve İ. D. B. tarafından verilen katsayılar ile çarpılarak bulunacaktır.

Jet grout kolon üretimine ait (80 cm çaplı ve Jet 2 yöntemi ile) 1 m maliyet hesaplaması aşağıda çizelgede verilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6: 80 cm Çapında ve Jet 2 yöntemi ile üretilen jet kolonunun, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat 2024 Birim Fiyatlarına göre hesaplanmış, 1 metre imalatın maliyet hesabı.

Poz No	Poz Tanımı	Ölçü Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
15.135.1002	Her uzunluk her açı ve her türlü zeminde Ø 80 cm jet kolonu üretiminin yapılması delgi dahil (jet 1 yöntemi ile)				959,792
	Monitoring sistemli; yüksek basınç pompası, su pompası, kompresör, karıştırıcı ünitesi, silo, su tankı ve benzerinden oluşan ekipman ile delgi makinesi ve sarf malzemeleri karşılığı				
19.100.1107	Jet grout ekipmanları ve delgi makinesi	saat	0,085	6.015,20	511,29
19.100.1025	Kompresör 250 HP	saat	0,085	1.221,08	103,79
10.130.9991	Su	m ³	0,650	35,00	22,75
19.100.1060	Formen	saat	0,250	272,00	68,00
19.100.1062	İşçi (inşaat işçisi)	saat	0,500	124,00	62,00
	Malzeme + İşçilik Tutarı				767,83
	% 25 Yüklenici Karı ve Genel Giderler				191,96
	1 m Ø 80 cm Jet Grout Kolonu İmalatı Yapılması Birim Maliyeti				959,79

- Proje zemin iyileştirme işleri kapsamında 14,00 m uzunluğunda ve 80 cm çapında toplam da 154 adet jet grout kolonu bulunmaktadır. Bu jet grout kolon üretimine ait; toplam maliyet hesaplaması (959,79 TL/m tül) x (2156 m tül) = 2.069.307,24 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6).

4.2 Beşiktaş Metro İstasyonu Fore Kazık ile Zemin İyileştirme Yöntemi

Çalışmamızın bu bölümünde anlatılacak proje Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Projesi "Mecidiyeköy-Kabataş arası ve Depo Sahası İnşaat İşleri ve İnce İşleri, Elektromekanik Sistemleri Temini, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri" olarak belirlenmiştir. Çalışılan projede, fore kazık üretiminin uygulandığı proje bölümü ise "Beşiktaş İstasyonu'nun oluşturulması için yapılan kazıya dair zemin mekaniği ve temel mühendisliği açısından inceleme yapılması, kazı esnasında karşılaşılan jeolojik birimlerin; dayanım ve deformasyon özelliklerine göre kazı ve destek sistemlerinin tespitinin yapılması, aç-kapa sistemi ile yapılacak olan inşanın üretimi süresince, yeterli hassasiyeti sağlayacak şekilde tasarlanması" işidir. Artson Geoteknik Mühendislik Müşavirlik firması tarafından (2016a, 2016b) yapılan sahada yerinde ve laboratuvar koşullarındaki deneyler sonrası elde edilen proje hesaplarında kullanılmıştır. İnceleme alanındaki çalışmalarda 3 adet temel araştırma sondajı yapılmış ve SPT (standart penetrasyon testi), PMT (presiyometre testi) ve BST (basıncılı su testi/packer testi) testleri ile elde edilen zemin verileri oluşturulmuştur (Ataş, 2021).

İstasyondaki üretimlerin yapılacağı sahada; incelemeler ve sondajların verilerinde, yüzeyde yer alan dolgu (yol, kaldırım vb. yapay kaplamalar) altındaki farklı kalınlıklardaki alüvyal çökeller ile bu çökellerin altında kumtaşı, silttaşı aralanmasından oluşan Trakya formasyonunun varlığı belirlenmiştir. Bu devamında yapılan sondaj verilerine göre yüzeye yakın olan bölgelerde bulunan kaya ve kayalaşmaya yakın birimlerinin tamamen ayrılmış deforme olmuş halde oldukları tespit edilmiştir. İstasyon yapılan alan Beşiktaş ilçesi sınırları içerisinde bulunan, yoğun yapılaşmanın olduğu ve tamamen şehirleşmiş bir kesimde olduğundan zeminin herhangi bir yüzeyine ait bir gözlem yapılamamıştır. Aç-kapa yöntemi ile inşa edilecek istasyon kısmının kazı alanında kumtaşı, ince kumtaşı ve ara seviyeli silttaşlarının varlığı, peron bölgesinin içinde yer alacağı, ayrıca tünel yapılarının olduğu bölgede ise az ayrılmış ve ayrışmamış kaya birimlerinin bulunduğu bilgisi elde edilmiştir (Çizelge 7). Kaya birimlerinin bulunduğu sondaj bölgelerinde hem ayrışma oranı hem de kaya kalitesinin tespit edilebilmesi için TCR (Toplam Karot Oranı), SCR (Sağlam Karot Oranı), RQD (Kaya Kalitesi Değeri) sayıları değerlendirilmiştir. Sondaj loglarında yeraltı suyuna 3,46 m-4,45 m derinliklerde rastlanmıştır. Analizlerde ise yeraltı su seviyesi 4,00 m kotunda olarak varsayılmıştır.

Çizelge 7: Beşiktaş Metro İstasyonu Zemin Parametreleri (Ataş, 2021).

Tabaka kalınlığı kotları ve Jeolojik birim	γ (kN/m ³)	Etkif Parametreler		Elastisite Modülü (kPa)	Poisson Oranı
		C' (kPa)	Φ'		
+8.25 m/+2.25 m Dolgu	17,0	2	28	10.000	0.40
+2.25 m/-6.45 m	18,0	5	28	15.000	0.40
Aluvyal Haliç Çökelleri					
-6.45 m/-13.35 m	22,0	10	34	35.000	0,35
Ayrışma Zonu-W5					
-13,35 m/...	25,0	60	26	200.000	0,30
Kaya, Çamurtaşı/Silttaşı					

Projelendirme yapılırken yukarıdaki şekilde gösterilen zemin verilerine ek olarak her kesitin hemen yanında $q=50$ kPa sürşarj yükü kabul edilmiştir. Bunun yanında tüm kesitlerde komşu olan yapılar için sürşarj yükü de dikkate alınmıştır. Standart sürşarj yüküne ek olarak komşu yapı tüm kesitlerinde $q=60$ kPa olarak alınmıştır. Laboratuvar sonuçları ve yapılan incelemeler neticesinde elde edilen zemin değerleri ve gerekli mekanik özellikler kadar, zaman, maliyet, uygulanabilirlik gibi niteliklerde seçilen zemin iyileştirmesinde büyük rol oynamaktadır. K.M.M. Metro Projesi Beşiktaş İstasyonu için belirlenen zemin iyileştirme modeli;

- Ø 100/80 cm Kesişen Fore Kazık + İçten Destek (Strut Kirişleri)
- Ø 100/100 cm Teğet Kazık + İçten Destek (Strut Kirişleri)

olarak oluşturulmuştur.

Sahada üretimi yapılmış olan projeye ait veriler ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının hazırlanmış olduğu ve İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) tarafından web sayfasında (<https://www.imo.org.tr/TR,66886/mesleki-teknik-bilgiler-imo-web-sayfasında.html>) yayınlanmış adam x saat çizelgeleri kullanılarak yapılan hesaplamalar aşağıda çizelgede verilmiştir (Çizelge 8).

- Projede bulunan toplam kazık (başlık ve kuşak kirişleri dahil) üretiminin yapılması için gerekli olan zaman; 51.079,83 adam x saat olarak hesaplanmıştır.

• Elimizdeki toplam adam x saat miktarını, projede üretimini gerçekleştirilmiş olduğumuz toplam fore kazık miktarına böldüğümüzde; 9,79 adam x saat gibi bir değere ulaşılmaktadır. Bu değer 1 metre/tül fore kazık üretimi yapılabilmesi için sarf edilecek süreye karşılık gelmektedir. Yapılan çizelgede ve açıklamalarında Beşiktaş İstasyonu fore kazık sistemi üretimine ilişkin değerlendirilerek elde edilmiş adam x saat verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bunun yanında sahada üretimi tamamlanmış bu projenin gerçek verileri şu şekildedir; Günlük 3-4 adet kazık üretimi ile devam edilen proje 21 ayda tamamlanmıştır.

Çizelge 8: Fore Kazık (Ø 100 cm çaplı) imalatının Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat 2024 Birim Fiyatlarına göre hesaplanmış 1 metre imalata göre adam x saat hesabı.

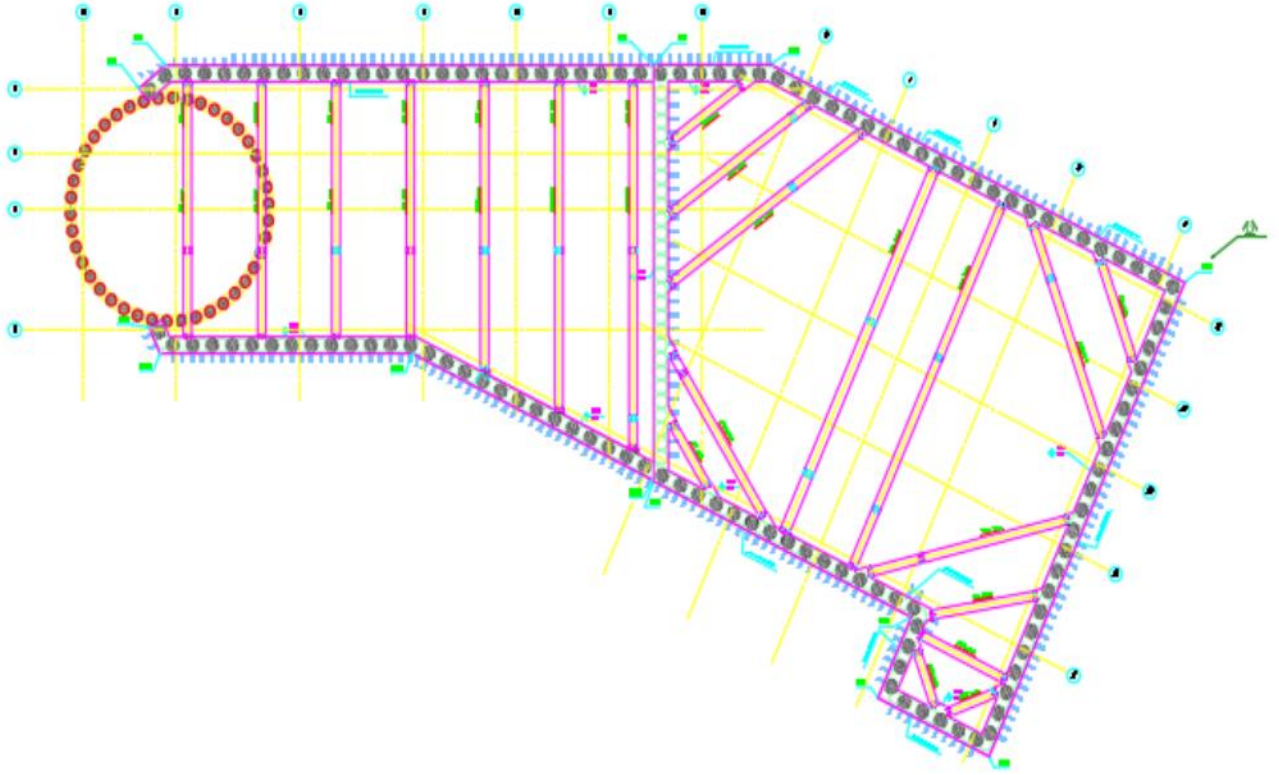
FORE KAZIK ÜRETİMİNİN YAPIMI						
Poz No	Poz Tanımı	Birimi	Miktar	Toplam İmalat	Toplam Adam x Saat	
151401007	Ø 100 cm çapında C 25/30 basınç dayanımında yerinde dökme betonarme fore kazık yapılması (0,00-18,00m arası, 18 m dahil, dış pasa nakli dahil)	m	6,50	5.216,80	33.909,20	
BAŞLIK KİRİŞİ ÜRETİMİ YAPIMI						
151801002	Ahşaptan düz yüzeyle beton ve betonarme kalıbı yapılması	m ²	2,055	840	2.940,00	
151501007	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompası ile basılan C 35/45 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	2,83	756,00	7.083,72	
151601006	Ø 14- Ø 28 nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi bükülmesi ve yerine konulması	ton	48,771	62,147	7.146,91	

• İksa üretiminin yapıldığı sahanın aynı zamanda İstanbul Arkeoloji Müzeler Müdürlüğü tarafından da kazı alanı ilan edilmiş olması, sahada aynı zamanda 10 kişilik arkeolog ekibi ile birlikte hem fore kazık kazılarını hem de arkeolojik kazıları hassasiyetle izlediği göz önünde bulundurulduğunda üretim süresinin uzunluğu kabullenilmiş olacaktır.

• Birçok farklı meslek gurubunun aynı anda çalışması gereken bir saha olması nedeni ile üretim çakışmaları oluşmuş ve bunlar da toplam süreyi uzatmıştır.

• Üretimin yapılmadığı, farklı farklı meslek grupları ile üretimin durduğu, dini ve milli bayramlar ile pazar vardiya tatilleri (5 ay) toplam gün sayısından (21 ay) çıkarıldığında yapılan üretimin gerçekte yukarıdaki çizelgede detaylıca verilen idealize adam x saat verilerinden yola çıkılarak hesap edilen süre (17,5 ay) ile örtüştüğü kabul edilmektedir.

Beşiktaş Metro İstasyonu'nun yapım öncesindeki kazı çalışmaları öncesinde alana ait sondajlar açılarak ve zemin incelemeleri yapılmış ve fore kazıkların plan görünüşü projelendirilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: Beşiktaş İstasyonu Fore Kazık Projesi Plan görünüşü (Ataş, 2021).

- Başlık kirişi üretimine ilişkin yapılan hesaplamalar ve maliyet analizleri projelerde bulunan toplam başlık kirişi imalatı (kalıp, beton demir) poz bazında hesaplanmış ve proje toplamında bulunan kazık boyuna bölünerek 1 metre/tül kazık üretimi için yapılan başlık kirişi üretimi bulunmuş ve bunun üzerinden maliyet hesabı yapılmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9: Fore kazık imalat büyüklükleri (Ataş, 2021)

Beşiktaş İstasyonu Fore Kazık İmalatı 5.216,80 metretül fore kazık

Toplam Foraj	Toplam Donatı İmalatı	Toplam Beton İmalatı
4097,27 m ³	579,958 ton	4097,27 m ³

- Yapılan bu değerlendirme proje toplamında yapılmış olan kazık üretim maliyetine eklenmiştir. Başlık kirişine ait alt pozlar fiyatlandırıldıktan sonra ana poz kaleminin birim fiyatına % 25 kar payı olarak eklenmiştir (Çizelge 10).
- Nakliye pozları hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Çizelge 10: Fore Kazık (Ø 100 cm çaplı) imalatının Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat ve Tesisat 2024 Birim Fiyatlarına göre hesaplanmış 1 metre imalatın maliyet hesabı.

Ø 100 CM BETONARME KAZIK İMALATI YAPILMASI BİRİM MALİYETİ							
Poz No	Poz Tanımı	Ölçü Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Birim Miktar	Birim Tutar(TL/MT ÜL)
15.140.1007	Ø 100 cm çapında C 20/25 basınç dayanımında yerinde dökme betonarme fore kazık yapılması (0.00-18.00 m arası, 18.00 m dahil)				3.621,92	1.0	3.621,92
	Foraj					0	
19.100.1058	Fore kazık delgi makinesi (440 HP) Foraj işçiliği, montaj ve demontaj, paşanın yükleme, boşaltma ve taşınması karşılığı	saat	0,300	5.454,12	1.636,24		
10.100.1063	Erbab İşçi	saat	0,300	150,00	45,00		
19.100.1027	Kazı Yükleyici	saat	0,120	1.005,14	120,62		
	Betonlama						
15.150.1004	C 20/25 Hazır Beton	m ³	0,860	2.034,24	1.749,45		
19.100.1033	Beton Vibratör Minha	saat	-0,050	278,35	13,92		
19.100.1058	Fore Kazık delgi makinesi (440 HP)	saat	0,010	5.454,12	54,54		
10.100.1063	Erbab İşçi	saat	0,200	150,00	30,00		
15.160.1004	Ø 14- Ø 28 nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi bükülmesi ve yerine konulması				26.011,56	0,1	2.887,28
10.130.1705	Beton Çelik Çubuğu Nervürü	kg	1070	18,70	20.009,00		
19.100.1111	Demir Kesme ve Bükme Makinesi	saat	2,000	37,28	74,56		
19.100.1019	Soğuk Demirci Ustası	saat	8,000	190,00	1.520,00		
19.100.1047	Soğuk Demirci Usta Yardımcısı	saat	12,000	140,00	1.680,00		
19.100.1062	Düz İşçi	Saat	12,000	124,00	1.488,00		
19.100.1062	Düz İşçi	Saat	10,000	124,00	1.240,00		
	Başlık Kirisi İmalatı						
15.180.1002	Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması				419,53	0,0	33,98
						81	
15.150.1007	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompası ile basılan C 35/45 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır				2.274,24	0,0	109,16
						48	

	beton dökülmesi (beton nakli dahil)			
15.160.1004	Ø 14- Ø 28 nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi bükülmesi ve yerine konulması	26.011,56	0,0	936,42
			36	
	Malzeme + İşçilik Tutarı	7.588,77		
	% 25 Yüklenici Karı ve Genel Giderler	191,96		
	1 m Ø 100 cm Genişliğinde Betonarme Kazık İmalatı Yapılması Birim Maliyeti	9.485,96		

- Başlık kirişi üretimi ile alakalı hesaplamalar ve maliyet analizleri yapılırken projelerde bulunan toplam başlık kirişi üretimi (kalıp, beton demir) pozlara göre hesaplanmış ve proje toplamında bulunan kazık boyuna bölünerek 1 metre/tül kazık üretimi için yapılan başlık kirişi üretimi bulunmuş ve bunun üzerinden mali olarak boyutlandırılmıştır.
- Yapılan bu çalışma proje toplamında yapılmış olan kazık üretimi maliyetine eklenmiştir. Başlık kirişine ait alt pozlar mali olarak boyutlandırıldıktan sonra ana poz kaleminin birim fiyatına %25 kar payı eklenmiştir.

5.SONUÇLAR

Afyonkarahisar da yapılan toplu konut projelendirilmesine ait jetgrout zemin iyileştirme çalışmalarının incelenmesi ve değerlendirilmesi, üretim yapılacak sahada bulunan zeminin arazi ve laboratuvar değerlerini incelenmesi ve bu üretimin zaman ve maliyet açısından irdelenerek açıklanması yapılmıştır. Bunun yanında İstanbul ili Beşiktaş İlçesi'nde yapılan Beşiktaş Metro İstasyonuna ait fore kazık ile zemin iyileştirmesine ait bölümde, zemine ait verilerin irdelenmesi ve bu üretimin zaman ve maliyet açısından hesaplanarak açıklaması gerçekleştirilmiştir. Makale içerisinde bilgileri verilen bu iki proje uygunluk, uygulanabilirlik, zaman ve maliyet olarak karşılaştırılarak optimizasyonu yapılmıştır.

- Jet grout ile zemin güçlendirme yöntemi, fore kazık, diyafram duvar, derin karıştırma taş kolon gibi zemin güçlendirme uygulamalarına göre daha yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Jet grout ile istenen yapısal şekil ve açıda uygulanabilirken, diğer uygulamalar için aynı şeyleri söylemek mümkün değildir.
- Her zeminde rahatlıkla jet grout üretimi yapılabilmektedir. Taşıma gücü düşük her zeminde uygulanabilen ve zemin güçlendirilmesi sağlanması nedeni ile kullanılan bir yöntemdir.
- Jet grout yönteminde zemin içerisinde bulunan ekipman yüksek basınç altında zemine verilen su çimento şerbeti ile zeminin parçalanması ve çimento ile bütünleşmesi temeline dayalı olması nedeni ile zemin

içerisinde yapılacak kolonun çapı ve yerleşim özelliklerinin kontrol altında tutulması, pek kolay olmamaktadır.

- Jet grout genellikle demirsiz olarak üretilmesi nedeni ile fore kazık üretimine nazaran daha kolay ve uygulanabilirliği açısından üretim sahasında fazla yer işgal etmemektedir. İstenilen şekle sahip olarak üretilebilmesi özelliği ile yapım alanında fazla sahaya ihtiyaç olmaması gibi durumu bütününde düşündüğümüzde, şehirleşmenin yaygınlığı ve yapılaşmanın fazla olması yerleşime açık alanlarda uygulama açısından fazla miktarda avantajı olduğu belirtilebilir.

- Fore kazık ya da diyafram duvar üretimi ile karşılaştırıldığında üretim esnasında daha çok özene, ihtimama ihtiyaç vardır. Fore kazık üretiminde yapılacak üretimde kazığın boyu, çapı gibi ölçüler daha kolay belirlenebilirken, jet grout ile yapılan zemin güçlendirme yöntemi uygulamasında kolonun genişliği, derinliği, süreksizliği ve ürünün vereceği serbest basma dayanımı gibi nitelikleri birçok faktörden etkilenmektedir. Bunun gibi nedenlerden jet grout ile güçlendirme fore kazık ile güçlendirmeye göre daha fazla özen ve dikkat gerektiren bir metottur.

- Kumlu zeminlerdeki uygulamalarında, sıvılaşılabile potansiyeline karşı bir avantaj, bir olumluluk sağlamasından dolayı çoğunlukla jet grout uygulanmaktadır. Afyonkarahisar ilindeki yapılan toplu konut projesinde de bu zemin iyileştirme yönteminin sıvılaşıma potansiyeline karşı artıları olacaktır.

Bu çalışmada fore kazık ve jet grout kolon üretiminin 1 metresinin üretilmesi için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı pozlarına uygun olarak verilen adam x saat verileri çizelgeler olarak belirtilmiştir. Çizelgelerden elde edilen değerlere bakıldığında 1 metre jet grout üretiminin yapılabilmesi için gereken adam x saat değerinin 6,920 adam x saat olduğu saptanmıştır. Fore kazık üretiminin 1 metresinin üretilmesi için gerekli olan değer 9,79 adam x saat olduğu kanıtlanmıştır. Bu veriler ışığında 1 metre jet grout kolon üretiminin 1 metre fore kazık üretimine oranla yaklaşık olarak %30 daha hızlı yapılabildiği sonucuna varılmıştır. Sabit giderler, ekipman kiralari, projenin devamının zemin iyileştirmesine bağlı olması gibi faktörler dikkate alındığında üretim hızının; zaman ve maliyet olarak birçok artışının olduğu aşikardır.

Çalışmamızda fore kazık ve jet grout kolonu imalatlarının 1 metresinin üretiminin yapılması için referans alınan Bakanlığın pozlarına uygun olarak verilen maliyet analizleri, ana ve alt pozlar bazında çizelge halinde verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen değerlere bakıldığında jet kolonu (80 cm çapında jet 1 yöntemi ile imal edilmiş) imalatının 1 metresinin değerinin 830,05 Türk Lirası olduğu görülmektedir. Fore kazık imalatının 1 metresi için gerekli olan maliyetin 9.485,96 TL olduğu hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında 1 metre fore kazık üretimi ile 1 metre jet grout kolonu üretiminin maliyetleri karşılaştırıldığında aralarında yaklaşık 11,5 kat maliyet farkı olduğu görülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

F.H.A.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma-orijinal taslak hazırlama.

İ.F.A.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKÇA

- Akın M., Akkaya İ., Akın M., Özvan A, Ak Y., 2019, "Impact of Jet Grouting Pressure on the Strength and Deformation Characteristics of Sandy and Clayey Soils in the Compression Zone", Korean Society of Civil Engineers Journal of Civil Engineering, p.p. 13, June 24
- Algın, H.M., 2013, "Jet Grout Kolon-Zemin Etkileşiminin Gerçekçi Modellemesi ve ara Yüz Geometrisinin Geoyapısal Sistemin Davranışına Etkisi" TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Geoteknik Sempozyum. Adana
- Artson Geoteknik (Artson Araştırma Sondajları Mühendislik Ticaret Limitet Şirketi), 2016a, "İstanbul Metrosu Kabataş-Mecidiyeköy arası Jeolojik-Jeoteknik etüd raporu". Cilt 1, İstanbul (yayımlanmamış).
- Artson Geoteknik (Artson Araştırma Sondajları Mühendislik Ticaret Limitet Şirketi), 2016b. "İstanbul Metrosu Kabataş-Mecidiyeköy arası Jeolojik-Jeoteknik etüt raporu". Cilt 2, İstanbul (yayımlanmamış).
- Ataş, F.H., 2021, "İnce Daneli Zeminlerin Jet Grout Tekniği ile Zemin İyileştirilmesi Yapılabilirliğinin Optimizasyonu" Tekirdağ Namık Kemal Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnş. Müh., ABD., Yüksek Lisans Tezi, 86 s.
- Bakım M.A., 2007, "Enjeksiyon Yöntemleri İle Zemin İyileştirmesi". Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,
- Baumann V., 1984. Das Soilcrete - Verfahren in der Baupraxis. Vortrage der Baugrundtagung, Duesseldorf, 49 – 83, DGEG.
- Burke, G., K., 2004. Jet Grouting Systems: Advantages and Disadvantages. ASCE, GEOSUPPORT 2004, s.s. 875-885
- Correia T., Valente J., Tinoco J., Falcao J., 2009. "Ecaluation of Mechanical Properties of Jet- Grouting Columns Using Different Test Methods". 17. Uluslararası Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Kongresi, Mısır. s.s. 2179-2171
- Durgunoğlu H. T., 2004. Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, s.s. 39-52, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Erkan İ.H., 2013 "Jet Grout Kolonlarının Performansını Etkileyen Faktörlerin Deneysel Olarak Araştırılması", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya,
- Gümüş, G., 2002, "Jet Grout Tequque and Strength Properties of Jet Grout Columns" Boğaziçi Üniv. Fen Bil. Enst. YL Tezi, İstanbul.
- İMO, İnşaat Mühendisleri Odası, (<https://www.imo.org.tr/TR,66886/mesleki-teknik-bilgiler-imo-web-sayfasinda.html>), Erişim Tarihi: 05.09.2024.

- Kaymakçı, S., 2014, "Jet Grout Kolona Soketli Fore Kazığın Çalışma Performansının Araştırılması". İTÜ. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul
- Kirsch, F., Sonderman W., 2001, "Ground Improvement and Its Numerical Analysis" Proc. 15. th. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., İstanbul, AA. Balkema S., 1775-1778.
- Küsin, C, Yıldız, A, Örnek, M., 2016, "Jet Grout Kolonları İle İyileştirilen Zeminlerin Homojenleştirme Yöntemiyle Sayısal Analizi . Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24. sayı, s.s. 121 - 131
- Lunardi P., 1977. Ground Improvement by Means of Jet-Grouting. Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, 1, 2,s.s. 65 - 86.
- Mısır G., 2020, "Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirme ve Deplasman Tahmini: Vaka Analizi", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 18, s.s. 290-299,
- Njock P.G.A., Chen J., Modoni G., Arulrajah A., Kim Y.H., 2018 " A Review of Jet Grouting Practice and Development", Arabian Journal of Geosciences ,edition 11, pp 31,
- Prota Mühendislik AŞ., 2020, "Beşiktaş İstasyonu Geçici Kazı Destek Sistemi Geoteknik Hesap Raporu", AL-PRT-M7- S02- CT00-01-02-UT-1D-001-1A, 2020 Haziran
- Sağlamer A., Düzceer R., Gökalp A., Yılmaz E., 2001. "Recent Applications Of Jet Grouting For Soil Improvement In Turkey". 15. Uluslararası Zemin Mekaniği Konferansı. Sayı 1-3, s.s. 1839-1842.
- Sert, S., Önalp, A., Özocak, A., 2007, "Derin Yumuşak Kil Üzerinde Köprü Ayağı Temeli" 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, 29-30 Kasım, Antalya.
- Skempton A.W., 1986, "Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relativa Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation", Geotechnique 36, No: 3, p.p. 425-447,
- TC. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024, İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, 648 s., Ankara. Erişim Linki: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/1--2024-b-r-m-f-yatlar-20240603-1019-20240603093641.pdf>, Erişim Tarihi: 05.09.2024
- Tschuchnigg, F., Schweiger, H.F., 2008, "Comparizon of Different Models for Analysing Foundation on on Jet Grout Colomns", Proc. 12 th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, 3149-3157.
- Welsh, J.P., Rubright, R.M. and Coomber D.B., 1986. Jet Grouting for Support of Structure Session. ASCE Spring Convention, Seattle.
- Wong J.G., Poh T.Y., 2000. Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures. Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, s.s. 247 -256.
- Zhao, L-S., et all., 2023, Anew prediction models of the jet grouting column diameter for three jet grouting systems. Computers and Geotechnics, 163-105753, <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.10575>