

# Farklı Oturmalar Nedeniyle Eğik Konuma Gelmiş Binanın Jet-Grout Yöntemiyle Doğrultulup Desteklenmesi

Sadık KÖSEOĞLU<sup>1</sup>



## ÖZ

Antalya-Konyaaltı ilçesindeki 7 katlı bir bina, çok farklı kalınlıktaki zayıf zemin tabakalarının farklı oturmaları nedeniyle, kaba inşaatın tamamlanmasından sonra radye temelin açılma eğikliği  $\tan \alpha = 1/107$  değerine ulaşmış ve ilgili Belediye tarafından inşaat durdurulmuştur.

Söz konusu bina ile ilgili “İMO Antalya Şubesi Bilirkişi”sinin, sonradan yapılan zemin incelemesine ve bina üzerinde yaptıkları incelemelere dayanarak düzenledikleri raporda, binanın doğrultulup desteklenerek kazanılabileceği önerisinde bulunulmuştur.

Bina, yazarın danışmanlığı altında BST Mühendislik Firması tarafından Jet Grout yöntemi kullanılarak özel bir teknikle doğrultulup desteklendikten sonra, YTÜ-Geoteknik Dalı Yetkilileri tarafından yapılan yükleme deneyleriyle, doğrultmanın ve desteklemenin başarılı ve güvenli olduğunu kanıtlamışlardır. Binanın oturma ve deformasyonları belirli bir süre izlenmiş ve oturmaların durduğu anlaşıldıktan sonra, binaya iskan raporu verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Jet grout yöntemi, bina doğrultulması, bina desteklenmesi, eğik binanın doğrultulması.

## ABSTRACT

### An Application of the Jet-Grout Rectification Technique for a Tilted Building

For a 7-storey residential building in the Konyaaltı county of Antalya province, as a result of the differing settlements of weak soil layers of different thicknesses, it was found at the completion stage of the main structural framework that the angle of tilt of the mat foundation had reached a value given by  $\tan \alpha = 1 / 107$ , as a result of which the construction was halted by the Municipality.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 23 Mart 2023 günü ulaşmıştır. 13 Ekim 2023 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mayıs 2024 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tjce.1269866>

1 BST Mühendislik Proje İnşaat Taahhüt Yatçılık Tic. Ltd. Şti., Antalya, Türkiye  
koseoglusaa@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0009-0606-3866>

A Technical Report based on soil investigations and structural evaluations by an Expert Witness from the Antalya Chamber of Civil Engineers suggested that rectifying the tilt and supporting the building might be feasible.

The building was strengthened and rectified using a special application of the Jet Grout technique by the BST Engineering Firm, with the author as Project Consultant. Loading tests were conducted by the Geotechnical Division of Yıldız Technical University, and the safety of the building after completion of the procedure was established. After a period of observations wherein no foundation movements were found, the Municipality issued its Certificate of Occupancy for the building.

**Keywords:** Jet grout technique, straightening of buildings, stiffening of buildings, rectification of tilted building.

## 1. GİRİŞ

Antalya - Konyaaltı ilçesindeki 7 katlı bir binanın temeli altındaki oturma farklarından dolayı binada oluşan eğiklik, inşaat süresince artarak gözü rahatsız eder duruma gelmiştir. İnşaat ruhsatı vermeye yetkili kurum (Konyaaltı Belediyesi İmar Müdürlüğü), bu durumu gerekçe göstererek inşaatı durdurmuş ve İMO Antalya Şubesine başvurarak, binanın oluşturulacak bir bilirkişi heyeti tarafından incelenerek, sonucun bir raporla kendilerine bildirilmesini istemiştir. Bilirkişi heyeti adına “Temel İnşaatı Uzmanı Yazar” tarafından düzenlenen rapor heyet tarafından onaylanarak yetkili kuruma sunulmuştur.

## 2. MAKALENİN AMACI

Makale, farklı kalınlıkta zayıf zemin tabakaları üzerine oturan binaların inşaatı sırasında veya daha sonrasında, ortaya çıkan farklı oturmalarından kaynaklanan eğikliğin giderilmesi veya izin verilen eğiklik sınırının altına çekilmesi için, bina doğrultulması konusunda yeni bir yöntem olan “Jet Grout Yöntemi” nin kullanılmasını öngören bir uygulamayı ayrıntılı bir biçimde açıklamayı amaçlamaktadır. Buna benzer koşullara sahip eğik binaların doğrultulması ve desteklenmesi için yol gösterici bir özelliğe sahip olan bu uygulamanın, pratikte çalışan İnşaat Mühendisleri ve Temel İnşaatı firmaları için iyi bir rehber olacağı kanısındayım.

## 3. BİNA VE TEMEL ZEMİNİNE İLİŞKİN SAPTAMALAR

İşin başında zemin incelemesi yapılmadan inşaat ruhsatı verilen ve inşaat başlanan bu bina için, kaba inşaatın tamamlanma aşamasında gözle fark edilir duruma gelen eğiklikten dolayı, işin Fenni Mesulü’ nün isteğiyle sonradan bina temeli dışında zemin incelemesi yapılmıştır.

Bina ile ilgili statik ve betonarme projeler ve sonradan yapılan zemin incelemesi temel alınarak, İMO Antalya Şubesi Bilirkişi Heyeti tarafından bina üzerinde yapılan inceleme ve ölçümler sonucunda özetle aşağıdaki bulgular saptanmıştır:

- 1) Kaba inşaatı tamamlanan bina, bodrum, zemin, 4 normal ve çatı katı olmak üzere 7 kattan oluşmaktadır (bkz. Şekil 1),



Köşe Adı	Köşe Yönü	Zayıf Tabaka Kalınlığı	Göreceli Oturma
A	GB	5,5 m	18 cm
B	GD	3,5 m	0
C	KB	11,5 m	24 cm
D	KD	5,5 m	18 cm

Köşe yönlerinde; G : Güney, B : Batı, D : Doğu, K : Kuzey yönü tanımlar.

Şekil 1 - Antalya-Konyaaltı ilçesinde kaba inşaatı tamamlanma aşamasında olan 7 katlı konut binasının genel görünüşü (Fotoğrafta binanın en az oturma oluşan tarafı sağ ön köşesi (B köşesi) ve en çok oturma oluşan tarafı sol arka köşesi (C köşesi) olarak belirlenmiştir).

- 2) Binanın betonarme karkas inşaatı tamamlanmış, duvarlar örülmüş, iç ve dış sıvaları tamamlanmış, kapı ve pencere kör kasaları takılmış ve döşeme kaplamaları büyük ölçüde tamamlanmıştır. Binanın, temel tabanına etkiyen üniform taban basıncı, bir bina katının yükü (Tesviye betonu kalınlıklarının imal edildikleri andaki eğiklikten dolayı gereğinden fazla yapıldığı dikkate alınarak)  $13,0 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Buna göre kirişli radye temel yükünün bir normal katın yüküne ve çatı katı yükünün yaklaşık normal kat yükünün yarısına eşit olduğu varsayılırsa, aşağıdaki gibi hesaplanabilir :

$$\sigma_0 = 13,0 \times (7,5) = 97,5 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

Görüldüğü gibi bu taban basıncı, kaya (traverten) tabakası üzerindeki çok zayıf zemin tabakaları üzerine etkimektedir ve zemin emniyet gerilmesinin çok üzerindedir.

- 3) Binanın zemin kat döşemesi üzerinde kot okumaları yapılmış ve en az oturma yapan güney-doğu (B) köşesi baz alındığında (Bu köşedeki oturma sıfır kabul edildiğinde), binanın güney-batı (A) ve kuzey-doğu (D) köşelerinin 18 cm ve kuzey-batı (C) köşesinin 24 cm göreceli oturma yaptığı belirlenmiştir (bkz. Şekil 2),
- 4) Oturma farkları, temel tabanında her iki doğrultuda farklı ölçüde olmak üzere, üst yapı ile birlikte rijit bir dönmeye neden olmuştur. Buna göre bina temelinde oluşan en büyük dönme, en az oturma yapan güney-doğu (B) köşesi ile en çok oturma yapan kuzey-batı (C) köşesi arasında oluşmuştur,
- 5) B ve C köşeleri arasındaki maksimum dönme (eğiklik) :

$$\tan \alpha = s_{\max}/l_{BC} = 24/2571 \text{ cm} = 1/107 > 1/300 \quad (2)$$

olarak elde edilmiştir (Burada  $l_{BC}$ ; temelin güney-doğu köşesi ile kuzey-batı köşesi arasındaki diyagonal uzaklık olup,  $l_{BC} = \sqrt{(21,60^2 + 13,95^2)} = 25,71 \text{ m}$  dir).

Fakat temelin üst yapı ile birlikte 1/107 oranındaki rijit açılal dönmesi sonucu, yapının taşıyıcı sisteminde ve dolgu duvarlarda hiçbir çatlak ve aşırı zorlanma belirtisine rastlanmamıştır. Bununla birlikte Polshin/Tokar (1957) ve Skempton/Mc Donald (1956)' ya göre bacalar silolar gibi çok fazla rijit yapılarda, en büyük eğiklik olarak  $\tan \alpha = 0,004 = 1/250$  değerine izin verilmektedir. Söz konusu binanın taşıyıcı sistemi çok rijit olmadığından, izin verilen eğiklik sınırının 1/300 olarak alınması uygun olur. Bu eğiklik sınırının, Bjerrum (1973)' un önerdiği açılal dönmeler için hasar sınırları kriterleri' ne de uygun düştüğünü belirtelim. Buna göre bina temelinde bir doğrultma işlemi yapılması gerektiği açıktır (bkz. S. Köseoğlu –Temeller II, Bölüm 3, Şekil 3.9).

- 6) Binanın onaylı statik projesinde temel sistemi, kirişli radye olarak düzenlenmiş ve taban güvenlik basıncı  $\sigma_{g\ddot{u}v} = 120 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Kirişli radye, 40 cm plak kalınlığı ve 50/80 cm ile 60/80 cm kesit boyutları olan kirişlerden oluşturulmuştur. Kirişli radye planı ve kirişlerin aks aralıkları Şekil 2 'de gösterilmiştir.
- 7) Binanın Betonarme taşıyıcı sisteminde kullanılan malzemeler C14 (B160) ve S220 (BÇI) olduğu belirlenmiştir. Bu malzemelerin, inşaat ruhsatının onaylandığı tarihte geçerli olan TS 500 (1984) Standardına ve 1975 tarihli "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği"ne uygun olduğu saptanmıştır (Günümüzde geçerli olan "TBDY:2018 - Deprem Yönetmeliği"nde minimum Beton ve Çelik malzeme kaliteleri C25 ve S420C' ye yükseltilmiştir). Ayrıca konut binası betonarme taşıyıcı sisteminin beton kalitesini belgelendirmek amacıyla, İMO Antalya Şubesi beton laboratuvarı tarafından taşıyıcı sistemin değişik bölgelerinden alınan 11 adet 93 mm çaplı karot beton örnekleri üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmış ve ortalama beton basınç dayanımı  $21,67 \text{ N/mm}^2$  olarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi, beton dayanımı C14 beton sınıfının epeyce üzerinde elde edilmiştir.
- 8) Sonradan yapılan zemin incelemesinde, bina temelinin dışında 5 adet sondaj deliği açılmış üstte bulunan zayıf zemin tabakaları için SPT deneyleri ve alttaki traverten kayası için RQD ve laboratuvarında eksenel basınç dayanımları belirlenmiştir. 15 m

derinliğinde açılmış 5 adet sondaj kuyusundan 4 adedi bina temeli köşelerinin hemen dışında ve 1 adedi CD temel kenarı ortasının hemen dışında açılmıştır (bkz. Şekil 2).

Zemin incelemesi, yazarın Geoteknik Uzmanı olarak devreye girdiği tarihten çok önce yapıldığından, ayrıntılı bir zemin incelemesi ve gerekli zemin parametrelerinin elde edilmesine yönelik zemin deneylerinin yaptırılması mümkün olamamıştır.

Şekil 2’ de, zemin incelemesinde açılan 5 sondaj kuyusundaki değişik zeminlerin tabaka kalınlıkları ve derinlikleri gösterilmiştir. Buna göre üstteki zayıf zemin tabakaları altındaki traverten (orta sertlikte kaya) tabakasının temel tabanından itibaren derinlikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir :

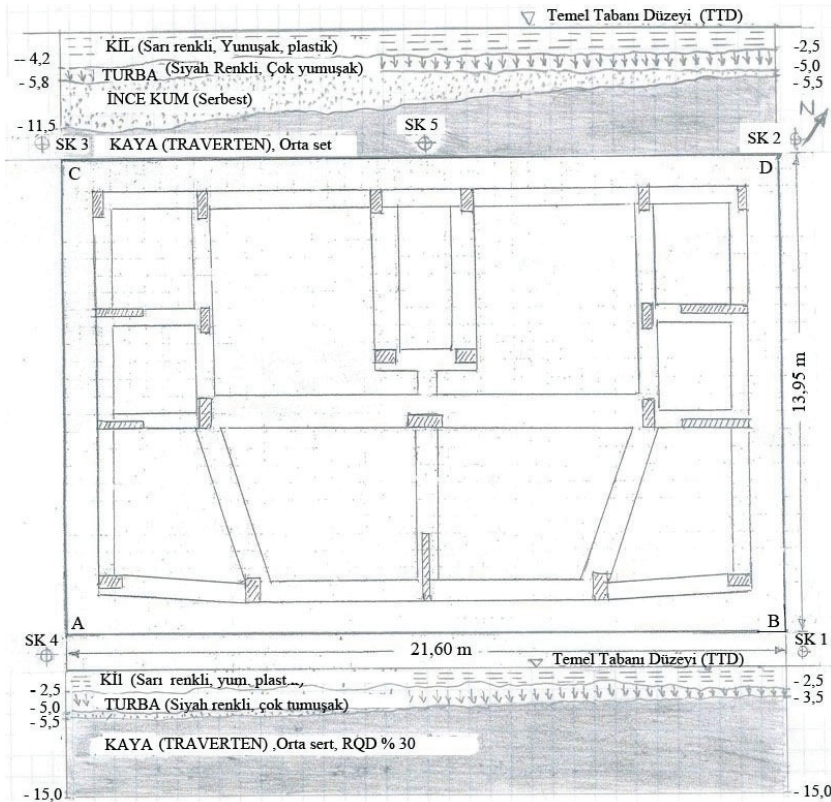
Radye temelin güney-doğu köşesi dolayında (SK1 sondaj kuyusu için) : 3,5 m,

Radye temelin kuzey-doğu köşesi dolayında (SK2 sondaj kuyusu için) : 5,5 m,

Radye temelin kuzey-batı köşesi dolayında (SK3 sondaj kuyusu için) : 11,5 m,

Radye temelin güney-batı köşesi dolayında (SK4 sondaj kuyusu için) : 5,5 m,

Radye temelin arka kenar ortası dolayında (SK5 sondaj kuyusu için) : 5,8m.



Şekil 2 - Oturma farkları nedeniyle eğik konuma gelmiş konut binasının temel planı ve zemin incelemesine ilişkin sondaj yerleri, zemin tabakalarının türleri ve kalınlıkları

Traverten tabakası üzerindeki zayıf zemin tabakasının zemin türleri ve derinlikleri Şekil 2' de gösterilmiştir. Ayrıca zayıf zemin türlerinin her bir sondaj kuyusundaki toplam kalınlığı, yukarıda verilen traverten tabakası derinliklerine eşit olacağı açıktır.

5 Adet sondaj kuyusunda yapılan SPT deneyleri sonucunda, 30 cm giriş için ortalama vuruş sayıları ; Kil için  $N_{30} = 3$ , Turba için  $N_{30} = 1$  ve İnce Kum için  $N_{30} = 7$  olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, zayıf zemin tabakalarının hiçbir taşıma yeteneği olmadığı varsayılabilir. Zemin incelemesine göre, yeraltı suyu yoktur ve zeminde sıvılaşma riski bulunmamaktadır.

Ayrıca zemin incelemesi sırasında traverten tabakasının RQD değeri % 30 olarak belirlenmiş ve alınan 3 adet Traverten karot örnekleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyi sonucunda aşağıdaki dayanım değerleri elde edilmiştir :

SK1 Sondaj kuyusunun 5,0 m derinliğinden alınan karot örnek için : 9,91 MN/m<sup>2</sup>,

SK2 Sondaj kuyusunun 7,0 m derinliğinden alınan karot örnek için : 7,85 MN/m<sup>2</sup>,

SK5 Sondaj kuyusunun 7,0 m derinliğinden alınan karot örnek için :10,74 MN/m<sup>2</sup>.

Buna göre, traverten tabakasının orta sertlikte kaya özelliklerine sahip olduğu görülmektedir.

Binadaki oturmaların zayıf zemin tabakalarının toplam kalınlığı ile orantılı olacağı açıktır. Buna göre, 24 cm' lik en büyük göreceli oturmanın 11,5 m toplam zayıf zemin tabakasına sahip kuzey-batı (C) köşesinde, 18 cm' lik ikinci büyük göreceli oturmaların 5,5 m kalınlığında toplam zayıf zemin tabakalarına sahip kuzey-doğu (D) ve güney-batı (A) köşelerinde ve en küçük oturmanın güney- doğu (B) köşesinde oluşacağı söylenebilir.

#### 4. EĞİK BİNANIN DOĞRULTULARAK DESTEKLENMESİ İÇİN ÖNERİLER

Bina temel zemini ile ilgili yukarıda belirtilen bulguların ve değerlendirmelerin ışığı altında, binanın rehabilitasyonu için bilirkişi heyeti tarafından aşağıdaki öneriler yapılmıştır :

- 1) Bina temeli altındaki zayıf zemin tabakaları, bina taşıyıcı sistemi ve zemin özellikleri gözönünde tutularak belirlenecek uygun bir yöntemle ve bu konuda uzmanlaşmış bir firma tarafından uygulanacak bir doğrultma ve destekleme yöntemiyle, çok titiz bir çalışma sonucu binanın kullanılabilir duruma getirilmesi olanaklı görülmektedir.
- 2) Mal sahibinin isteğiyle, yazarın Teknik Danışmanlığını yaptığı BST Mühendislik Firmasınınca düzenlenerek Konyaaltı Belediyesi'ne sunulan, binanın jet grout tekniğiyle doğrultulması ve jet grout kolonları ile bina yüklerinin alttaki sağlam temel zemini tabakasına aktarılması projesi, binada ek zorlamalar oluşturmayacak biçimde titizlikle uygulandığı ve tarafsız bir kuruluş tarafından taşıma gücü için gerekli yüklemeye deneyleri yapılarak, olumlu sonuçlar elde edildiği taktirde, uygulamanın başarılı olacağı konusunda bilirkişi heyetinde genel bir kanaat oluşmuştur.
- 3) Binanın desteklenmesi nasıl yapılırsa yapılsın, sözkonusu uygulama tamamlandıktan sonra, oturma ve oturma farkları inşaat bitimine kadar (en az 3 ay süreyle) izlenmeli ve oturmaların tamamen durduğuna kanaat geldikten sonra iskan izni verilmelidir.

## 5. EĞİK BİNANIN DOĞRULTULMASI VE ALTTAN DESTEKLENMESİ YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ VE UYGULANMASI

### 5.1. Genel Bilgiler

Antalya-Konyaaltı ilçesi Atatürk Bulvarında inşa edilen 7 katlı konut binası kaba inşaatının tamamlanması aşamasında, temel altındaki farklı oturmalarından kaynaklanan eğiklik nedeniyle, Konyaaltı Belediyesi tarafından 24.04.1999 tarihinde inşaat durdurularak mühürlenmiştir. Bu arada mal sahibinin görevlendirdiği BST Mühendislik Firması Belediye İmar Müdürlüğüne, İMO Antalya Şubesi bilirkişi raporu doğrultusunda ve temel mühendisliği uzmanı olarak yazarın görüş ve önerilerini de dikkate alarak, sözkonusu binanın doğrultulması ve bina yüklerinin sağlam zemine aktarılması ile ilgili bir proje sunmuştur. Konyaaltı Belediyesi, İMO Antalya Şubesi Bilirkişi Raporundaki ve Akdeniz Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi öğretim üyelerinin İMO Antalya Şubesi Bilirkişi Raporu'ndakilere paralel görüş ve önerilerine dayanarak, konuyu Belediye Encümeni gündemine taşımıştır. Konyaaltı Belediyesi Encümeni tarafından, İMO Antalya Şubesi Bilirkişisinin görüş ve önerileri doğrultusunda, eğik binanın doğrultulması ve bina yüklerinin jet grout kolonları ile sağlam zemine aktarılması projesinin kontrollü olarak uygulanmasına ve bu konuda uzman tarafsız bir kuruluşun ve Belediye teknik elemanlarının denetiminde yapılacak yükleme deneyleri sonuçlarının ilgili tarafsız kuruluş tarafından düzenlenecek olumlu bir raporun Belediye İmar Müdürlüğüne verilmesi koşuluyla, bina rehabilitasyon çalışmalarına izin verildiği belirtilmiştir.

### 5.2. Eğik Binanın Doğrultulması Çalışmaları

BST Mühendislik firmasının teknik danışmanı olarak Temel İnşaatı Uzmanı Yazar ve firma yetkilileri, firmanın ekipman olanaklarını da gözönüne alarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, eğik binanın doğrultulması ve bina yüklerinin sağlam zemine aktarılması konusunda aşağıdaki yöntem ve aşamaları kararlaştırmışlardır :

- 1) Eğik binanın doğrultulması, temel altında az oturan zayıf zemin bölgelerine jet grout ekipmanı ile kontrollü bir biçimde yüksek basınçla su püskürtülerek zeminin dışarı atılmasıyla, hacminin küçültülüp temel oturmasının sağlanması,
- 2) Binanın 1/107 olan eğikliği, doğrultma çalışmaları ile 1/300 olan güvenli sınır altına çekildikten sonra, bina yükünün yeterli sayıda düzenlenecek jet grout kolonları ile sağlam zemine aktarılması çalışmalarına başlanması uygun görülmüştür,
- 3) Bina doğrultma uygulamasında, o aşamaya kadar oluşan gerçek oturma farkları ve destekleme uygulamasında toplam bina yükünün yeterli sayıda jet-grout kolonu ile doğrudan traverten (kaya) tabakasına aktarılması esas alınmıştır.

Dünya Literatüründeki bina doğrultma yöntemlerinin hemen hemen tümü, binanın fazla oturma yapan bölgesinden binayı çok sayıda hidrolik preslerle kaldırma prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde doğrultmanın sağlıklı ve başarılı olması için, yapı sisteminin ve temelin rijit ve taban alanının oldukça küçük olması gerekir. Doğrultulması istenen binanın taban boyutları oldukça büyük ( $b_x=21.60$  m ve  $b_y=13,95$  m) olan bir binadır. Bu binanın fazla oturan bölgelerinin hidrolik preslerle yalnızca temel kenarlarından (Temel

tabanı altına girilemeyeceğine göre) kaldırılması sırasında, temel plağında ve üst yapı sisteminde aşırı zorlanmalar ve hasarlar oluşması kaçınılmazdır.

Böyle bir binanın yapısal özelliklerine ve temel zemini koşullarına en uygun doğrultma yönteminin, az oturan bina bölgelerinin kontrollü olarak oturma yaptırılması ile binanın doğrultulması olduğuna karar verilmiştir. Binanın az oturma yapan bölgesinden zeminin kazılarak çıkartılması ile gerçekleştirilen bir doğrultma yöntemi, Zou (1996) [50] tarafından Çin 'de denenmiş olmasına karşın, jet grout yöntemiyle su püskürtülerek doğrultulma yöntemi, bildiğimiz kadarıyla Literatürde ilk kez uygulanmıştır. Bu yöntemle yapılacak bir bina doğrultulmasının uygun olacağı düşüncesine bizi yönlendiren üç nedenden birincisi, binanın oldukça rijit olan bir kirişli radye temele oturması, ikincisi 24 cm'lik maksimum oturma farkında bile taşıyıcı sistemde ve dolgu duvarlarda hiçbir çatlak ve aşırı zorlanma oluşmaması ve üçüncüsü ise oturma farklarının sağlam traverten tabakası ile temel tabanı arasındaki zayıf zemin tabakalarının toplam kalınlığının çok farklı (sağlam traverten tabakası üst yüzeyinin çok eğimli) olmasından kaynaklandığının kuşku duyulmaz bir biçimde belirlenmiş olmasıdır.

Şimdi esas konu, az oturma yapan bölgelerde bulunan zayıf zemin tabakalarının nasıl oturtulacağıdır. Bu amaçla geliştirilen çözüm, temel plağında açılan 60 mm çapındaki deliklerden Ø42 mm çapında olan jet grout tijinin zayıf zemin içine sokularak, memelerden 300 ila 350 bar basınçla zemine su püskürtülmesidir. Yüksek basınçlı su jeti sırasında, zemin tümüyle örselenerek ince daneler radye temelde açılan Ø60 mm çapındaki deliklerden su ile birlikte dışarı atılmaktadır. Bu zayıf zemin tabakalarını oturtulmasına yardımcı olan öteki bir önlem, bu bölgelerdeki zemin kat döşemesi üzerine, gerekli önlemler alınarak, uygun ölçüde ağırlık (safra) konulmasıdır.

Jet grout kolonlarının imalinde 42 mm çapında jet grout tiji kullanılmıştır. Bu Jet grout tijinin ucunda 2 adet 2 mm çapında püskürtme memesi bulunmaktadır. Zeminin örselenmesi ve ince danelerin temel plağında açılmış Ø60 mm'lik deliklerden dışarı atılması için, zayıf zemin tabakalarını derinliği boyunca yüksek basınçla su jeti püskürtülmüştür. Burada önemli olan nokta, su jeti ve döşeme üzerindeki ağırlıklı temelin oturması sağlanırken, temelin düzlemsel olarak oturması ve temelde önemli ölçüde kasıntı ve deformasyon oluşmamasıdır. Bu amaçla elimizde üç olanak bulunmaktadır: Birincisi zemine püskürtülecek su jetinin fazla oturma yaptırılacak bölgelerde daha çok sayıda ve az oturma yaptırılacak bölgelerde daha az sayıda uygulanması, ikincisi tijin fazla oturma yaptırılacak bölgelerde daha uzun süreli (tijin çok sayıda batırılıp çekilmesiyle) ve az oturma yaptırılacak bölgelerde daha kısa süreli uygulanmasıdır. Üçüncü olanak ise, işlem sırasında temel plağı üzerinde sık sık oturma kontrollerinin yapılmasıdır. Bu belirlemelerin ışığı altında, jet grout yöntemiyle yüksek basınçlı su püskürtülerek zemine oturma yaptırılmasında aşağıdaki gibi hareket edilmiştir:

Jet grout yöntemiyle su püskürtmeye başlamadan önce, fazla oturma yapan C köşesine komşu temel plağı kenarlarının fazla oturan bölgeleri, çalışmalar sırasında daha fazla oturmaması için, 2 sıra jet grout kolonu ile oturma yapamayacak şekilde askıya alınarak desteklenmiştir. Daha sonra, üst yapıdan gelen kolon yüklerinin yoğunluğuna uygun olarak açılan deliklerden zemine sokulan jet grout tiji ile, B köşesinden C köşesine doğru dalgalar halinde pek çok kez tekrar edilerek, kademe kademe yüksek basınçlı su püskürtülmüştür. Yukarıda da belirtildiği gibi, su püskürtme işlemi, fazla oturma yaptırılması gereken bölgelerde, jet grout tijinin zemine çok sayıda uygulanması ve çok sayıda sokulup çekilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu



işlemlerin her aşamasında, oturmalar temel plağı üzerindeki kot okumaları ile sık sık kontrol edilerek jet grout yöntemiyle su püskürtme işlemi buna göre yönlendirilmiştir.

Eğik binaların doğrultulması sırasında, gözden kaçırılmaması gereken çok önemli bir nokta daha vardır. Çok eğimli kaya üst yüzeyi üzerinde çok fazla sıkışabilen zayıf zemin tabakalarının bulunduğu temel zeminine oturan binalarda, oturma ve oturma farkları temel plağı dökülür dökülmez başlamakta ve her yeni imalat yükünün eklenmesiyle artmaya devam etmektedir. Bu binada asansör boşluğu iskeletinin imal edildiği aşamada, 7 cm'lik bir oturma farkı bulunduğu ölçmeler sonucunda belirlenmiştir. Kat döşemelerinin tesviye betonları ve asansör rayları bu eğikliğe göre düzenlendiği için, bina temeli oturma farkı sıfır olacak şekilde doğrultulursa, asansör raylarında ters tarafa doğru 7 cm'lik bir eğiklik oluşacak ve bu eğiklikten dolayı asansör normal çalışamaz duruma gelecektir. Bu dedenle temelin B ve C köşeleri arasındaki oturma farkı sıfır olduğunda değil,  $(24 - 17) = 7$  cm olduğunda doğrultma işlemine son verilmiştir. Bu durumda açılacak eğiklik :

$$\tan \alpha = 7 \text{ cm} / 2571 \text{ cm} = 0,0027 = 1/367 < 1/300 \quad (3)$$

olduğundan, doğrultma işlemi sonucu eğiklik, izin verilen sınırın altına düşürülmüştür.

Temel plağı üzerinde yapılan kot okumaları ile, doğrultmanın hedeflenen düzeye geldiği anlaşıldıktan sonra, içine su püskürtülen zayıf zemin tabakalarının kuruması için çalışmalara birkaç gün ara verilmesinde yarar vardır.

### 5.3. Bina Temelinin Sağlam Zemine Kadar Jet Grout Kolonları ile Desteklenmesi

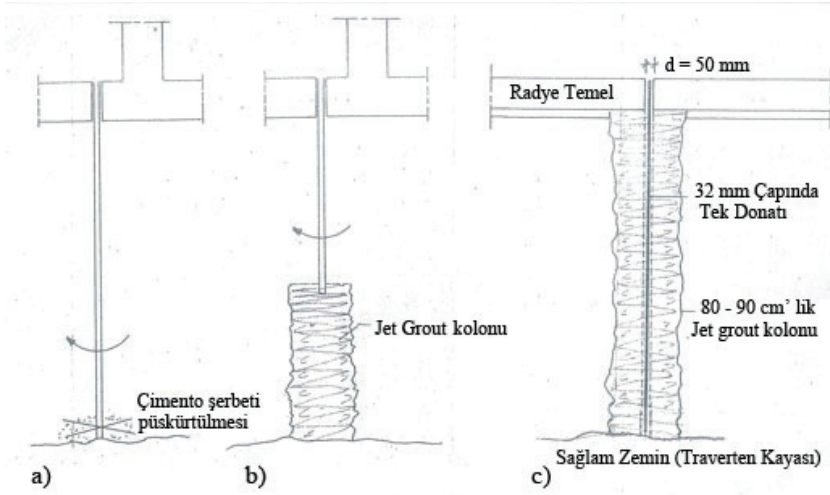
Şimdi su jeti için açılan deliklerden, sağlam temel zemini (traverten) tabakasına kadar uzanan jet grout kolonları ile bina yükünün sağlam zemine aktarılması gerekmektedir (bkz. Şekil 3).

Binanın kat tabiyesi yükü (BA karkas + Dolgu duvarlar + Döşeme kaplaması + sıva ağırlığı ve hareketli yük dahil)  $13,0 \text{ kN/m}^2$  alınır, toplam bina yükü aşağıdaki gibi hesaplanır :

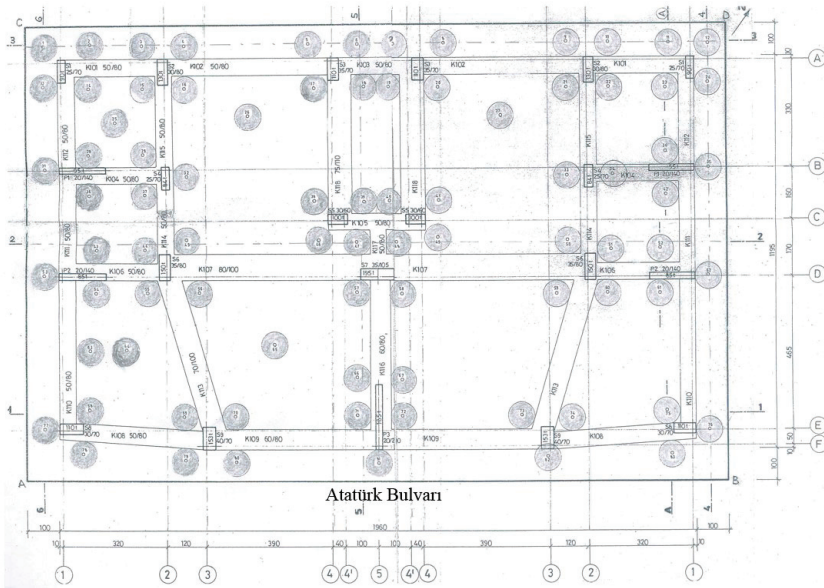
$$P_{\text{top.}} = 13,0 \times 7,5 \times (21,60 \times 13,95) = 29\,379 \text{ kN} = 29,379 \text{ MN} \quad (4)$$

Bu yükün sağlam temel zeminine (traverten tabakasına) aktarılabilmesi için, 83 adet düşey jet grout kolonu imal edilmiştir. Toplam yükün jet grout kolonlarına eşit dağılmayabileceği gözönüne alınarak, en büyük jet grout kolonu yükü % 10 artırılarak :  $1,10 \times 29\,379/83 \approx 400 \text{ kN}$  olarak belirlenmiştir. Traverten tabakası ile radye tabanı arasındaki zayıf zemin tabakalarının hiçbir yük taşımadığı varsayılmıştır. Jet grout kolonlarının çapı zemin türüne göre 60 cm ile 90 cm arasında, uzunlukları ise 4 m ile 14 m arasında gerçekleştirilmiştir. Zemin incelemesinde traverten tabakasının en derin noktası C köşesinde 11,5 m derinlikte gösterilmiştir. İmalat sırasında 14 m uzunluğunda jet grout kolonunun gerçekleşmiş olması, traverten üst yüzeyinin düzlemsel olmadığı, yer yer çukurluklar bulunduğu anlamına gelmektedir.

Bina temeli altındaki jet grout kolonları imalatına başlamadan önce, bina dışındaki arazide deneme amaçlı jet grout kolonları imal edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Jet grout kolonlarının imali için, 2 mm çapında 2 adet püskürtme memesi kullanılmış ve meme aralıkları 2,5 cm seçilmiştir. Püskürtülecek çimento şerbetinin su/çimento oranı 1/1 olarak ve sistem basıncı 300 ila 350 bar olarak seçilmiştir. Jet grout tijinin dönüş hızı 15 devir/dakika olarak alınmış ve tijin çekilmesi otomatik olarak 4 cm'lik kademelerle gerçekleştirilmiştir.



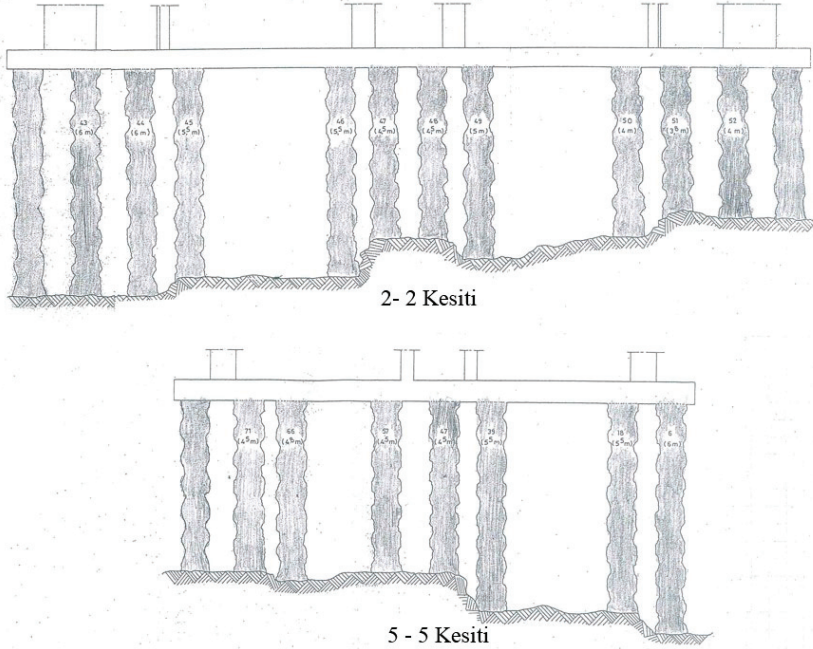
Şekil 3 - Bina içinde yapılan jet grout kolonu çalışmalarının imalat aşamaları



Şekil 4 - Temel planı üzerinde jet grout kolonlarının yerlerinin ve sıra numaralarının gösterilişi

Şekil 4’de radye temel planı üzerinde jet grout kolonlarının yerleri ve sıra numaraları gösterilmiştir (Fazla oturma yapan temel bölgesi kenarlarında düzenlenen 2 sıra kolon dahil). Ayrıca x doğrultusunda 2-2 kesitinde ve y doğrultusunda 5-5 kesitinde düzenlenen jet grout kolonlarının yandan görünüşü, çapları ve boyları ile birlikte şekil 5 ‘te gösterilmiştir.

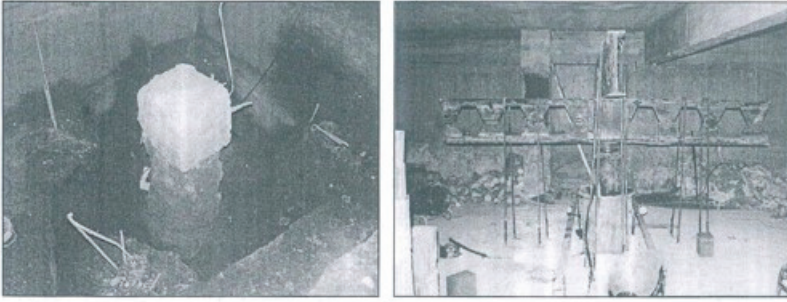
Temel planında radye temel altına jet grout kolonlarının yerleştirilmesinde, radye temelin eğilme zorlanmalarını düşük tutmak için, jet grout kolonlarını bodrum kattaki üst yapı kolonlarının etki bölgelerinde yoğunlaştırılmasına ve kolon yüklerine uygun sayıda jet grout kolonu düzenlenmesine dikkat edilmelidir. Burada Temel tabanı altından sağlam zemin tabakasına kadar düşey jet grout kolonlarından oluşturulan bu destekleme sistemi, boşlukta düzenlendiğinde çoğunlukla kararsız dengeye sahip bir statik sistem oluşturmasına karşın, jet grout sütunları ile iyileştirilmiş zayıf zemin içinde yatay kuvvetlerin, zeminin toprak direnci ile karşılanması sonucu stabil bir sistem olarak alınabilir.



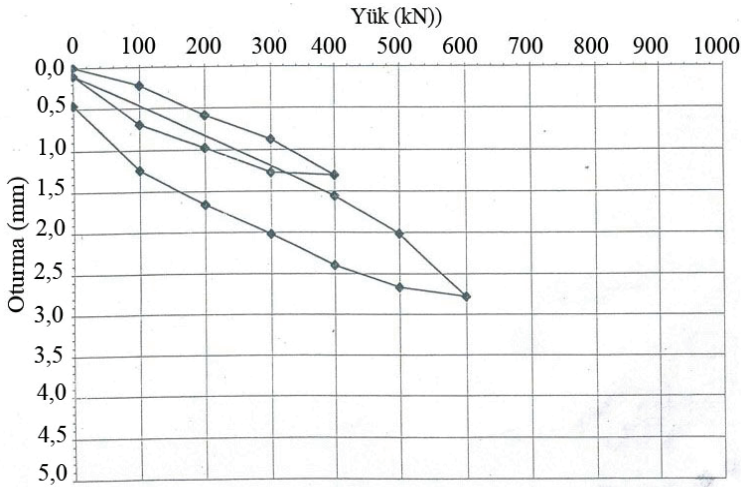
*Şekil 5 - x Doğrultusundaki 2-2 kesitinde ve y doğrultusundaki 5-5 kesitindeki jet grout kolonlarının numaraları ve temel plağı tabanı ile traverten tabakası üst yüzeyi arasındaki yükseklikleri*

## 6. BİNANIN DESTEKLENMESİ İÇİN İMAL EDİLEN JET GROUT KOLONLARININ YÜKLEME DENEYİ İLE TAŞIMA GÜCÜNÜN KONTROLÜ

Antalya-Konyaaltı ilçesindeki 7 katlı eğik konut binasının doğrultma ve destekleme çalışmaları tamamlandıktan sonra, BST Mühendislik firması tarafından uygulaması yapılan temel destekleme projesinde, imal edilen jet grout kolonlarının hedeflenen taşıma gücünü doğrulamak amacıyla, konunun uzmanı tarafsız bir kurum (YTÜ, İnş. Fak., Geoteknik Dalı) tarafından, binada oturmanın en fazla olduğu temel köşesinde (C köşesinde) jet grout kolonları ile çevrilmiş alanın ortasındaki jet grout kolonunda bir yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir (bkz. Şekil 6 a ve 6 b).



Şekil 6 - a) Desteklenen binanın temel tabanı altında imal edilmiş jet grout kolonu (BST Mühendislik Firm.) b) Desteklenen binanın temeli altında imal edilmiş bir jet grout kolonu üzerinde yapılan yükleme deneyi



Şekil 7 - Bir jet grout kolonu üzerinde yapılan yükleme deneyinin Yük-Oturma eğrisi

Proje kazıkları için CIRIA (1985)' de belirtilen aşamalarla gerçekleştirilen bu deneyde, jet grout kolonu başının deplasmanı, 0,01 mm duyarlılığı olan saatler yardımıyla ölçülmüş ve deplasman değeri, okuma değerleri ortalaması olarak alınmıştır. Şekil 7'de gösterildiği üzere, birinci çevrimde proje yükü olan yaklaşık 400 kN 'da toplam oturma 1,3 mm ve kalıcı oturma 0,1 mm, proje yükünün 1,5 katında (600 kN 'luk yükleme altında) ise toplam oturma 2,8 mm ve kalıcı oturma 0,5 mm olarak gözlenmiştir. Bu değerler, yükleme deneyini gerçekleştirilen ve elde edilen sonuçları 08.06.2000 tarihinde düzenlenen bir Raporla Konyaaltı Belediyesi-İmar Müdürlüğüne sunan tarafsız kurum tarafından, jet grout kolonları için öngörülen 400 kN 'luk proje yükünün güvenle taşınabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Konut binasının doğrultulması ve bina temelinin desteklenmesi işinin tamamlanmasından başlayarak, işin sonuna kadar (en az 3 ay süreyle) periyodik ölçümler yapılarak, binada hiçbir

oturma ve oturma farkı olmadığı saptanmış ve Konyaaltı Belediyesi İmar Müdürlüğü'ne yazılı olarak bildirilmiştir. Ancak Belediye, ondan sonra binaya iskan ruhsatı vermiştir. Ayrıca binaya ilişkin doğrultma, destekleme ve yükleme deneyi çalışmalarının tamamlanma tarihi olan Haziran 2000 tarihinden sonra, kontrol aralıkları giderek artırılmak suretiyle 2022 yılı sonuna kadar izlenmiş ve binada hiçbir oturma ve oturma farkı oluşmadığı saptanmıştır.

## 7. SONUÇLAR

Varolan zemin ve yapı sistemi koşulları altında, jet grout yöntemiyle eğik bir binanın doğrultulması ve desteklenmesi uygulamasından çok başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Uygulamanın başarısında, öncelikle çok titiz ve kontrollü çalışmanın büyük payı olduğu açıktır. Bunun dışında, uygulamanın öngörülen hedefleri sağlayıp başarılı olmasının diğer önemli iki nedeni ;

- 1) Bina eğikliğinin neden kaynaklandığının çok açık bir biçimde belirlenmiş olması,
- 2) Temel sisteminin üst yapı ile birlikte rijit bir toplam sistem oluşturması sonucu, binanın oturma farklarından dolayı zemin üzerinde rijit bir dönme yapması ve bu dönme sırasında taşıyıcı sistemde ve dolgu duvarlarda hiçbir çatlama ve aşırı zorlanma ortaya çıkmamasıdır.

Binanın jet grout yöntemiyle doğrultulup desteklenmesiyle kazanılması, çok ekonomik ve rasyonel bir çözüm olmuştur. Eğer sözkonusu bina jet grout yöntemiyle başarılı ve güvenli bir biçimde doğrultulup desteklenmeseydi, kaba inşaatı tamamlanmış bina için ilgili Belediye tarafından yıkılma kararı alınıp kesinlikle yıkılacaktı. Binanın kaba inşaatının tamamlanması aşamasında yıkılıp yeniden yapılması, yaklaşık 540 000 \$ 'lık milli servetin yok olması dışında, yaklaşık bir yıllık zaman kaybına neden olacaktı. Ayrıca mal sahibi veya yüklenici, binadan inşaat aşamasında daire satın alan şahısların haklı yasal talepleriyle karşı karşıya kalacaktı.

### Kaynaklar

- [1] Baumann, V./Samol, E. (1980) -Soilcrete-Verfahren-Hochdruckinjektion zur Lastübertragung und Abdichtung in fein-und grobkörnigen Bodenschichten. Vortraege Baugrundtagung Mainz, S. 437 – 463.
- [2] Bijerrum, L – Allowable settlemente of structures Geot. Inst. Oslo 198 (1973)
- [3] Brandl, H. (1989) – Underpinning. Proc. 12 th ICSMFE Bio de Janerio, S. 2 227 –2 258.
- [4] Brandl, H. (1992) – Fundamentsicherung einsturzgefaehrder Brücken. Vortage Baugrundtagung Dresden, S. 256 – 280.
- [5] Cambefort, H. (1969) – Bodeninjektionstechnik. Deutsche Übersetzung von K. Back nach der Französischen Ausgabe von 1964. Wiesbaden : Bauverlag.
- [6] Gravert, F. W. (1975) – Ein Beitrag zur Gründung von Hochhaeusern auf bindigen Boden. Deutsch Konferenz Hochhaeuser, Int. Verein Brückenbau Hochbau (IVBH).

- [7] Greenwood, D. (1987) – Underpinning by grouting. *Ground Engineering* 20, S. 21 – 30.
- [8] Köseoğlu, S. (2017) – Temeller II-Statığı ve Konstrüksiyonu, Lord Matbaası-İstanbul.
- [9] Marinas, P.G. /Koukis, G.C. (1988) – The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites. Proc.INT. Symposium Athen. Ed. Balkema.
- [10] Meissner, H./Petersen, H. (1990) – Einpresstechniken zur Erddruckerhöhung und zum Anheben von Bauwerken. *Bauingenieur* 65, S. 83 – 89.
- [11] Polshin/Tokar – Maximum allowable nonuniform settlement of structures Proc. IV. Int. Conf. Soil Mech. London 1957, Bd I S. 402-405.
- [12] Raabe, E.W./Ersters, K. (1986) – Injektionstechniken von Stillsetzung und zum Rückstellen von Bauwerksetzungen. *Vortraege der Baugrundtagung Hamburg*,
- [13] Schubert, A./v.SooS,P. (1990) – Schadenrisiken beim Einsatz des Jet-Grouting-Verfahrens. 5. Christian Veder Kolloqium Graz, 15 S.
- [14] Skempton/Mc Donald – Settlement of building Proc. Inst. Civ. Eng. London 5 (1956)..
- [15] Smolczyk, U. (1981) – Saving Old Cites. General Report Sees 9, x. ICSMFE Stockh.
- [16] Smolczyk, U. (1992) –Grundbau-Taschenbuch (1992), Teil 3, Kapitel 2.3, S. 87-107.
- [17] Sommer, H. (1976) – Setzung von Hochhaeusern und benachbarter flachen Anbauten nach Theorie und Messung. *Vortrage Baugrundtagung Nürnberg*, S. 141 – 169. Deutsch Gesellschaft für Erd-und Grundbau, Essen
- [18] Stockhammer, P. (1990) – Aisführung der Hochdruckboden vermörtelung nach dem Soilcrete-Verfahren. 5. Christian-Veder-Kolloqium Graz, 15 S.
- [19] Zou, Y. (1996) – Ein neues Verfahren zum Aufrichten geneigter Gebaeude, *Bautechnik* 73, 437 – 442.

**Standartlar ve Yönetmelikler**

- [1] DIN 4123 (2013) – Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen, im Bereich bestehender Gebaeude.
- [2] DIN 4124 (2012) – Baugruben und Graeben-Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten.
- [3] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018).
- [4] TS 500 (2000) – Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları