



800 Yıllık Bir Mühendislik Bilmecesi

Pisa Kulesi

Pisa Kulesi hiçbir zaman tam anlamıyla dik olmadı. 1173'te, kulenin inşasına başlanmasından kısa bir süre sonra, temel eğri oturdu ve kule kuzeye doğru eğilmeye başladı. Yaklaşık 100 yıllık bir aradan

sonra, yapıma kaldığı yerden devam edildiğinde, binadaki eğilme de sürdü. Öyle ki, 1272'de kulenin eğikliği gözle görülür hale gelmişti; ancak bu kez eğim güneye doğruydü. Bugün, kulenin en üstü, olması

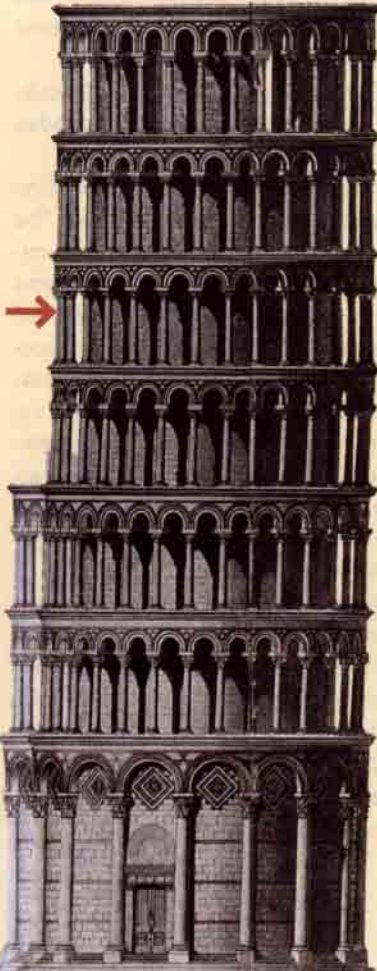
gerekenden 5 m 227 cm güneydedir.

Anıtsal yapının tarihi boyunca, mimarlar ve mühendisler eğilmenin önüne geçmeye çalışmışlar. Ancak, 1911'de düzenli aralıklarla ölçümler

İlk Aşama: 1173-1178

Pisa'daki çan kulesi, 200 yıl süren ve üç ayrı aşamada gerçekleşen yapım süreci boyunca yavaş yavaş eğilmiştir.

1173'te ilk taşların konmasıyla, yapı kuzeye doğru yatmaya başlamıştı. Bu ilk eğilmenin kanıtını kulenin tasarımında görmek olanaklı. İlk katların şakülünü tutturmak için, üçüncü katta, kulenin aşağıda kalan kuzey tarafındaki sütun ve kemerlerin boyu güney taraftakilere göre hafifçe daha uzun tutulmuştur. Pisa'daki politik karmaşa, inşaatın, dördüncü katın yapımı sırasında durmasına yol açmıştır.

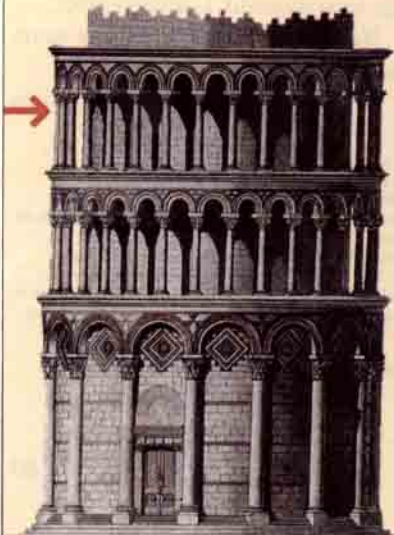


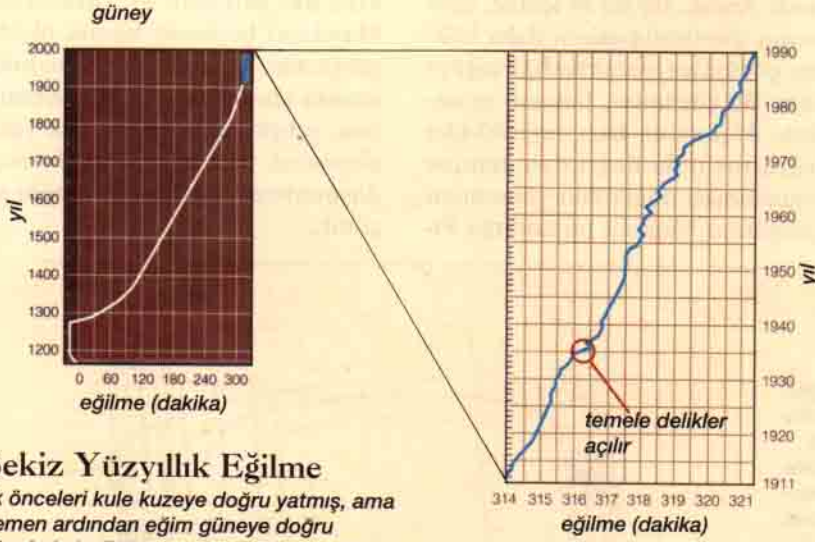
İkinci Aşama: 1272-1278

Neredeyse 100 yıl sonra, 1272'de işe tekrar başlandığında, kulenin güneye doğru -bugünkü doğrultuda- eğilmiş olduğu görüldü. Eğikliği gidermek için bu kez de, beşinci katın güney tarafı kuzeye göre biraz daha yüksek yapıldı. 1278'de, yedinci kat bitirildiğinde inşaat, yine politik karmaşa yüzünden ara verildi. 1292'de kulenin eğikliği o derece göze çarpar hale gelmişti ki, bir grup duvar ustasından (zamanın mimarları) sorunu araştırmaları istendi. Bu, aradan geçen 700 yıl içinde aynı görevi üstlenecek olan birçok komitenin ilki olarak kabul edilir.

Üçüncü Aşama: 1360-1370

Binanın sekizinci katı olan "çan odası"nın yapımına 1360'ta başlandı. Mimarlar bir kez daha güney yönündeki eğilmeyi düzeltmek için çan odasını kuzeye doğru açılı biçimde tasarladılar. Yapılan bütün bu müdahaleler, binanın kesiti üzerinde görülmektedir. Sarfedilen çabalar, binanın yapım sürecinin uzunluğuyla birleşince (bu süre içinde binanın bulunduğu zemin, eğikliğe dayanabilecek kadar sıkışmıştır) anıtsal öneme sahip yapıyı yıkılmaktan kurtarmıştır.





Sekiz Yüzyıllık Eğilme

İlk önceleri kule kuzeye doğru yatmış, ama hemen ardından eğim güneye doğru yönelmiştir. Eğilmenin hızının en yüksek olduğu dönem, 14. yüzyıl başlarıdır. Düzenli gözlemin başladığı 1911 ile 1990 yılları arasında kule, yılda 1.2 mm hızında eğilmeye devam etti. 1993'te alınan önlemlerin ardından eğilme hızında düşüş gözlemlenmiştir.

beton harcıyla
doldurulan delikler

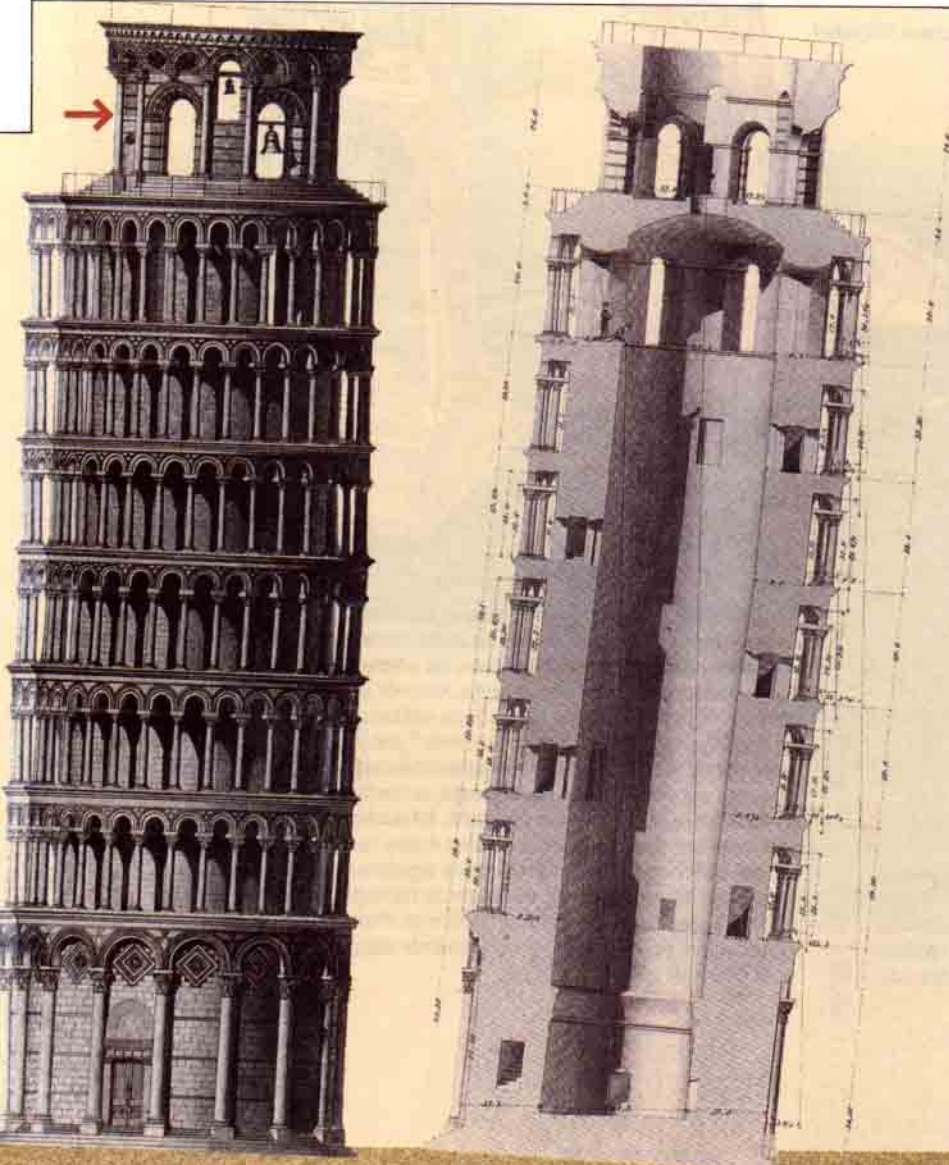
Kulenin Zeminini Korumak

Geçmişte, kuleyi kurtarma çabalarının bir takım beklenmedik yan etkileri olduğu sonradan ortaya çıktı. Örneğin 1935'te konuyla ilgilenen bazı uzmanlar, yapının altında bulunan suyun temeli zayıflattığını ileri sürmüşlerdi. Bunun üzerine, temelin alttan sızan suya karşı korunması gündeme gelmiş ve suya engel olmak amacıyla, temelin içine farklı açılarla oyulan deliklere beton harcı doldurulmuştu. Yandaki grafikte de görüldüğü gibi, sonuçta eğilmenin hızı 1935'te, bir önceki yıla oranla 6 kat artmış.

re başlanmasından bu yana, kulenin tepesinin her yıl 1,2 mm'lik sabit denebilecek bir miktarda eğilmeye devam ettiği ortaya çıktı. Benzer biçimde inşa edilmiş olan Pavia Ka-

tedrali'nin çan kulesi 1989 yılında yıkılınca, kulenin güvenliğine ilişkin endişeler yeniden gündeme geldi. Bu olayın hemen ardından Pisa Kulesi ziyarete kapatıldı.

1990 yılında, İtalyan ve yabancı uzmanlardan oluşan özel bir komisyon İtalyan hükümetince bir araya getirildi. Sanat tarihçileri, restorasyon uzmanları, inşaat ve jeoteknik



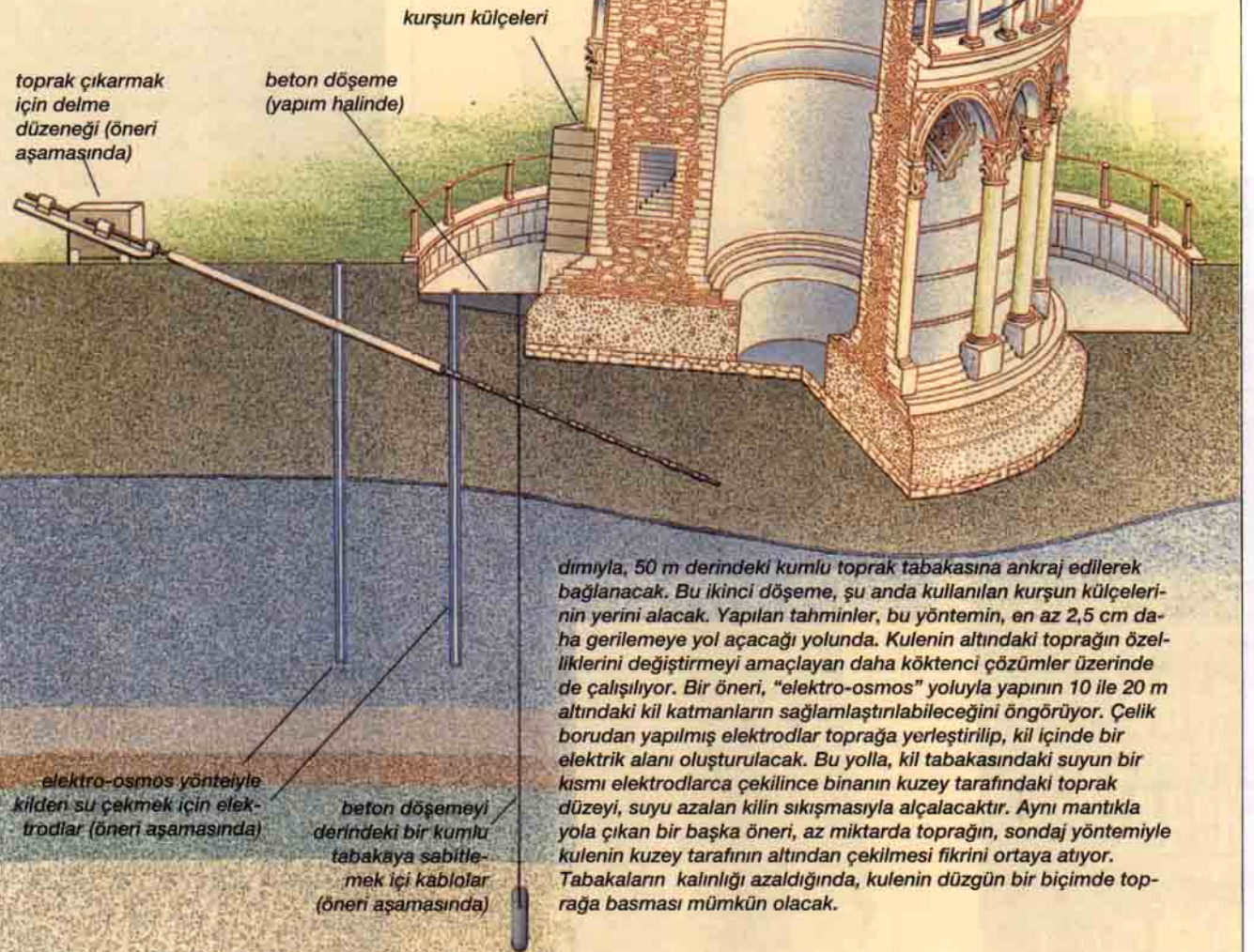
mühendislerinden oluşan Consorzio Progetto Torre di Pisa (Pisa Kulesi Projesi Konsorsiyumu), öncelikle yapının dengesinin korunarak ayakta kalmasının sağlanması ve eğilme hızının azaltılması için önerilen birkaç projeyi yaşama geçirdi. İlk çalışmalar kulenin dışına iliş-

kindi. Ancak, bir iki ay içinde, eğilmenin durdurulmasının daha kökten çözümler gerektirdiği ortaya çıktı. Bu çözümler, binanın temelinde düşünülen bazı değişiklikler doğrultusunda doğrudan zemine uygulanması öngörülen yöntemleri içeriyordu. Kulenin bulunduğu Pi-

azza dei Miracoli'de (Mucizeler Meydanı) başlanan büyük ölçekli çalışmalar, henüz kuleden oldukça uzakta sürdürülmektedir. Zemindeki çalışmaların kuleye çok yakın olmasının, yapıya zarar verebileceği düşünülerek böyle bir yöntem seçilmiş.

Günümüzde İzlenen Yöntemler

Günümüzdeki çalışmalarda, anıtsal yapının dengeli kalabilmesi için birçok farklı yöntem üzerinde durulmaktadır. Eğilmenin güney duvarlarında yarattığı olağanüstü gerilimin kulenin çökmesine yol açabileceği bilinmektedir. İlk katın taş duvarının çatlamasına karşı önlem olarak, 1992'de yapının bu katı çelik kuşaklarla çevrelenmiştir. Güvenliğe yönelik bu önlem alındıktan sonra, kulenin eğikliğini azaltma çalışmalarına başlandı. İlk önce yapının tabanı etrafındaki beton döşemenin kuzey tarafına toplam 750 ton ağırlığında kurşun külçeler yerleştirildi. Bu ağırlık, kulenin eğilmesini durdurmakla kalmadı; Haziran 1993'ten Şubat 1994'e kadar geçen dokuz aylık süre içinde, kuzey yönünde 2,5 cm gerilemesini sağladı. Haziran 1995'te anıt çevresinde yeni bir beton döşemenin inşasına başlandı. Döşeme, çelik kablolar yar-



dımıyla, 50 m derindeki kumlu toprak tabakasına ankraj edilerek bağlanacak. Bu ikinci döşeme, şu anda kullanılan kurşun külçelerinin yerini alacak. Yapılan tahminler, bu yöntemin, en az 2,5 cm daha gerilemeye yol açacağı yolunda. Kulenin altındaki toprağın özelliklerini değiştirmeyi amaçlayan daha köktenci çözümler üzerinde de çalışılıyor. Bir öneri, "elektro-osmos" yoluyla yapının 10 ile 20 m altındaki kil katmanların sağlamlaştırılabileceğini öngörüyor. Çelik borudan yapılmış elektrodlar toprağa yerleştirilip, kil içinde bir elektrik alanı oluşturulacak. Bu yolla, kil tabakasındaki suyun bir kısmı elektrodlarca çekilince binanın kuzey tarafındaki toprak düzeyi, suyu azalan kilin sıkışmasıyla alçalacaktır. Aynı mantıkla yola çıkan bir başka öneri, az miktarda toprağın, sondaj yöntemiyle kulenin kuzey tarafının altından çekilmesi fikrini ortaya atıyor. Tabakaların kalınlığı azaldığında, kulenin düzgün bir biçimde toprağa basması mümkün olacak.

Temel

Kulenin altındaki kil ve kum tabakalarının farklı derecelerde sıkışması yapının eğilmesine yol açmıştır. Temelin hemen altında, 7 m kalınlığında çamur, kil ve kumlu topraktan oluşan bir karışım bulunmaktadır. Onun altında, 20 metrelik, gri-mavi renkli, yerel dilde Pancone kili olarak adlandırılan tabaka var. İlk iki tabaka arasında yer alan kumlu yüzey, Piazza dei Miracoli'nin çoğu yerinde yataylığını korurken, kulenin altında çanak şeklinde bir gerilim çizgisi oluşturur. Birbirini izleyen kil ve kum tabakaları 70 m derinliğe kadar ulaşır. Bütün meydan yavaş yavaş çöküyorsa da bazı bölgelerdeki çöküş, diğerlerine göre daha hızlı. Binayı tasarlayanlar, kulenin inşası için bu talihsiz bölgelerden birini seçtiklerini ne yazık ki bilmiyorlardı.



çamur, kil ve kumlu toprak

Pancone kili

kil

kum

kil

ince kum



Çelik kuşaklar, binanın en çok basınca dayanmak durumunda olan ve çökme tehlikesi içindeki ikinci katını sarmalıyor. Eğiklik yüzünden, 14 700 ton olan kulenin ağırlığının büyük kısmını güney duvar taşımakta.

Çalışmaların asıl amacı Pisa Kulesi'ni doğrultmak değil. Bina, yapının erken aşamalarında farklı yönlerde meylenmiş olduğu için bir muz gibi "eğri" bir biçim almış olduğundan hiçbir zaman gerçek anlamda

dik duramayacak. Zaten hedeflenen de, kulenin tepesinin 10-20 cm kadar geri çekilmesidir. Biraz da şansın yardımıyla, bu çalışmalar sonucu anıtsal yapının gelecek yüzyıla ayakta girmesi umuluyor. Bu ise ye-

ni bir kuşak bilim adamının, 800 yıllık soruna daha köktenci bir çözüm üretebilmesine olanak sağlayacak.

Paolo Heiniger
Scientific American, Aralık 1995.
Çeviri: Kuyuş Örs



Kulenin içine en ufak hareketi bile ölçebilen aygıtlar yerleştirilmişti. Bu sayede, örneğin geçen Eylül ayında, sadece iki gün içinde kulenin tepesinin güney yönünde 0.24 mm ilerlediği belirlenmiş.

Toplam ağırlığı 750 tondan fazla olan kurşun külçeleri kule tabanının kuzey tarafına yerleştirildi. Ağırlıklar, kuzey duvarının temelini aşağı bastırılmış ve kuleyi bir iki santimetre kadar doğrultmuştur.

